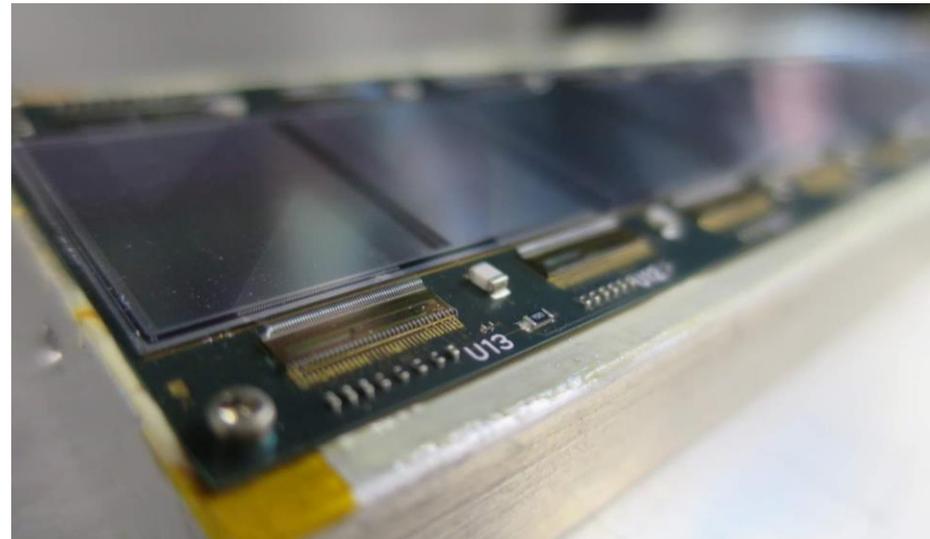


RHIC-sPHENIX実験における中間飛跡検出器 INTT用シリコンセンサーによる宇宙線測定

奈良女子大学 理学部 数物科学科 物理学コース B4 柴田 実香
卒業研究発表会 2020年2月21日

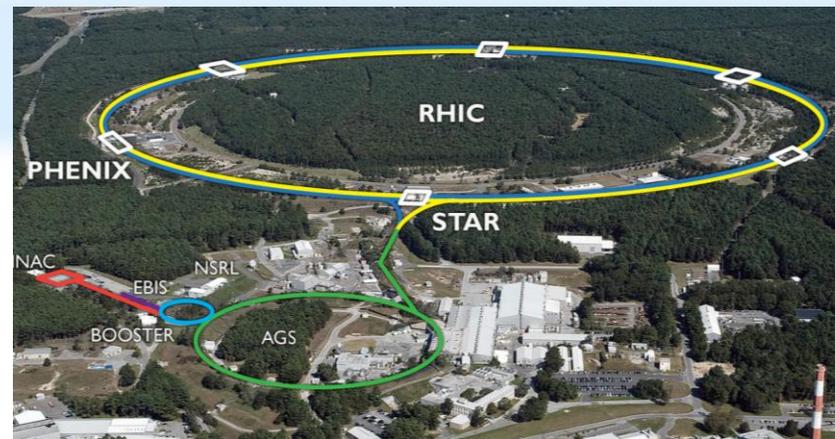


- 研究背景
- 研究目的
- 測定条件と解析方法
- 測定結果
- 宇宙線測定のスミュレーション
- スミュレーションと宇宙線測定結果の照らし合わせ
- まとめ
- 課題

研究背景

RHIC-sPHENIX実験

- アメリカブルックヘブン国立研究所
RHIC(Relativistic Heavy Ion Collider)加速器での実験
- 稼働予定期間
2023年~
- 目的
衝突で生じるJet現象やUpsilon粒子を測定し、QGPの性質を決定する
- 衝突エネルギーと粒子種
200GeV, 金原子核対

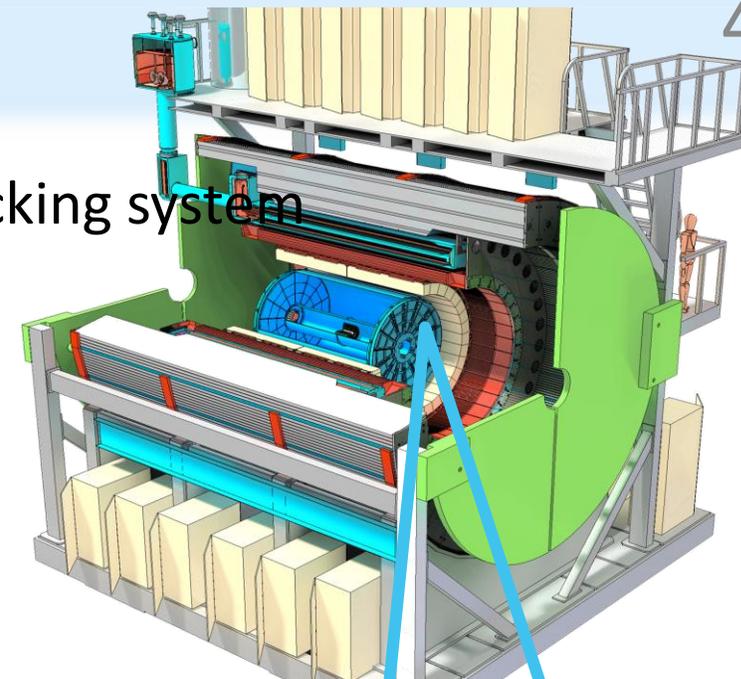


QGP(Quark-Gluon Plasma)

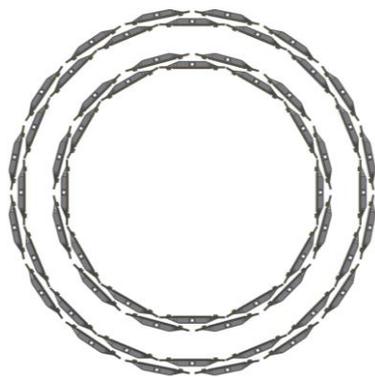
高温、高密度でハドロンの閉じ込めからクォークとグルーオンが解放されたプラズマ相
ビッグバンから約 10^{-5} [s]後に実現していたとされる。

中間飛跡検出器INTT

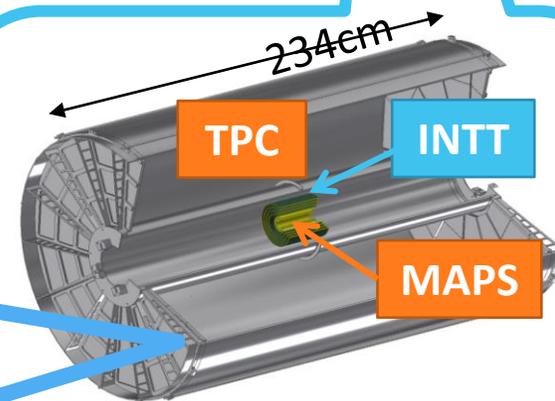
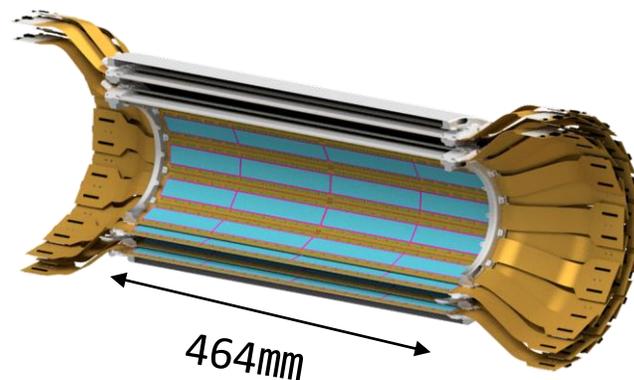
- INTT: **I**ntermediate Silicon Strip **T**rack detector of the **T**racking system
- sPHENIX実験の3つの飛跡検出器のうちの1つ
- 樽状の2層構造のストリップセンサー
- ビームパイプから6cm~12cmに位置
- 時間分解能が高く、飛跡再構成において重要な役割を担う



下図：INTT検出器を横からみた図



下図：INTT検出器



上図:飛跡検出器

INTT用シリコンセンサー

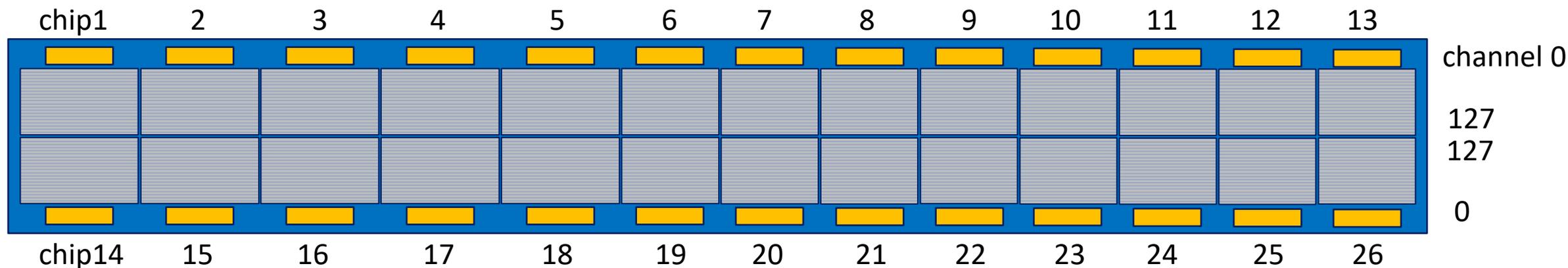
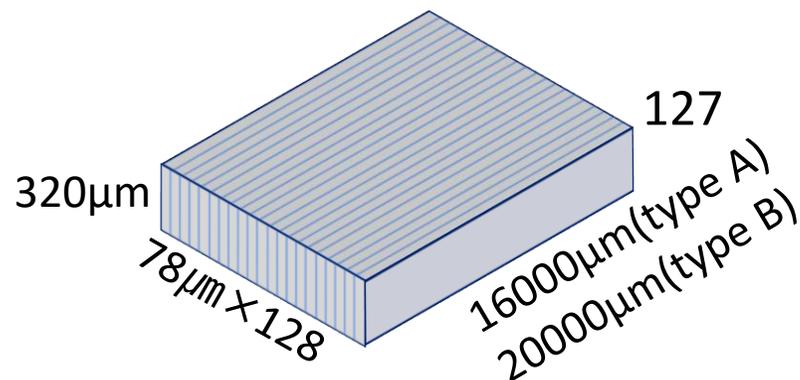
シリコンストリップセンサー

- ・ 78 μm ピッチ、320 μm 厚のストリップ128個で構成

シリコンセンサーモジュール

- ・ 26個のシリコンストリップセンサー
- ・ 26個の読み出しチップ(FPHX)
 - ・ 1つのFPHXチップが128ch分(1センサー分)の信号をになう
 - ・ 1chあたり3bitのADCをもつ。

下図：シリコンセンサー1個の模式図
channel 0



上図：INTT用シリコンセンサー1モジュール分のセンサーとFPHXの並びのイメージ図

※ シリコンセンサーモジュール→module
チップの番号→chip
ストリップ番号→channelと呼ぶ。

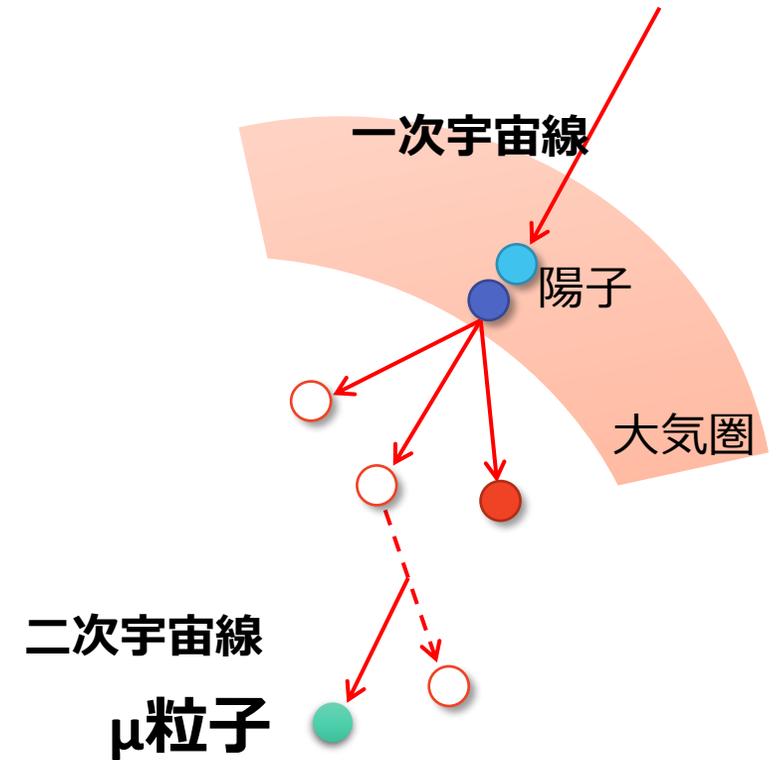
- ・ 宇宙空間を高エネルギーで飛び回る小さな粒子

宇宙空間：一次宇宙線（ほとんどが陽子）



地表：二次宇宙線（ほとんどが μ 粒子(ミュオン)）

- ・ μ 粒子
 - ・ 1分毎に約1個/cm²
 - ・ 地上で測定できる最大エネルギーを持つ粒子



- 高エネルギー粒子である宇宙線 μ 粒子によりINTT用シリコンセンサーのデータ測定能力を評価する。
- 高エネルギー荷電粒子のシリコン中での応答を調べ、理解を深める。

高エネルギーμ粒子のエネルギー損失

1. μ粒子(1GeV)が320μm厚のシリコンを通過→エネルギー損失

入射粒子の運動量, 物質の種類, 物質中の通過距離

- 単位密度単位長さあたりの損失エネルギー：約 $1.15 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ (Bethe-Bloch の式)
- シリコンの密度： $2.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

$$\text{損失エネルギー} = 1.15 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \times 2.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \times 0.032 \text{ cm} \times 10^6 \approx \mathbf{86 \text{ keV}}$$

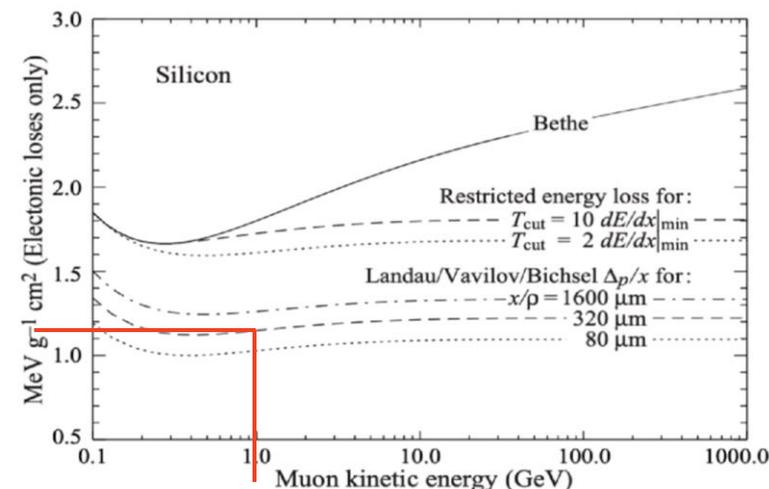
2. 読み出されたデータは、エネルギー損失をeVからmVに変換して測定

- シリコン内で電子-正孔対を生成するエネルギー：3.67eV
- 電子1個の電荷： $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\frac{86 \text{ keV}}{3.67 \text{ eV}} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{15} \approx \mathbf{3.7 \text{ fC}}$$

$$\mathbf{3.7 \text{ fC}} \times \text{gain(増幅係数)} \rightarrow \mathbf{mV}$$

$$1.15 \text{ MeV} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^2$$

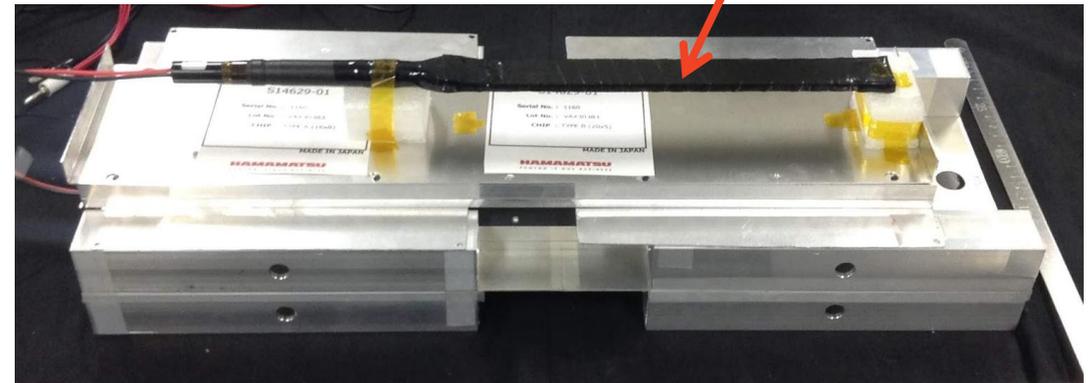


上図：単位密度単位長さあたりのエネルギー損失

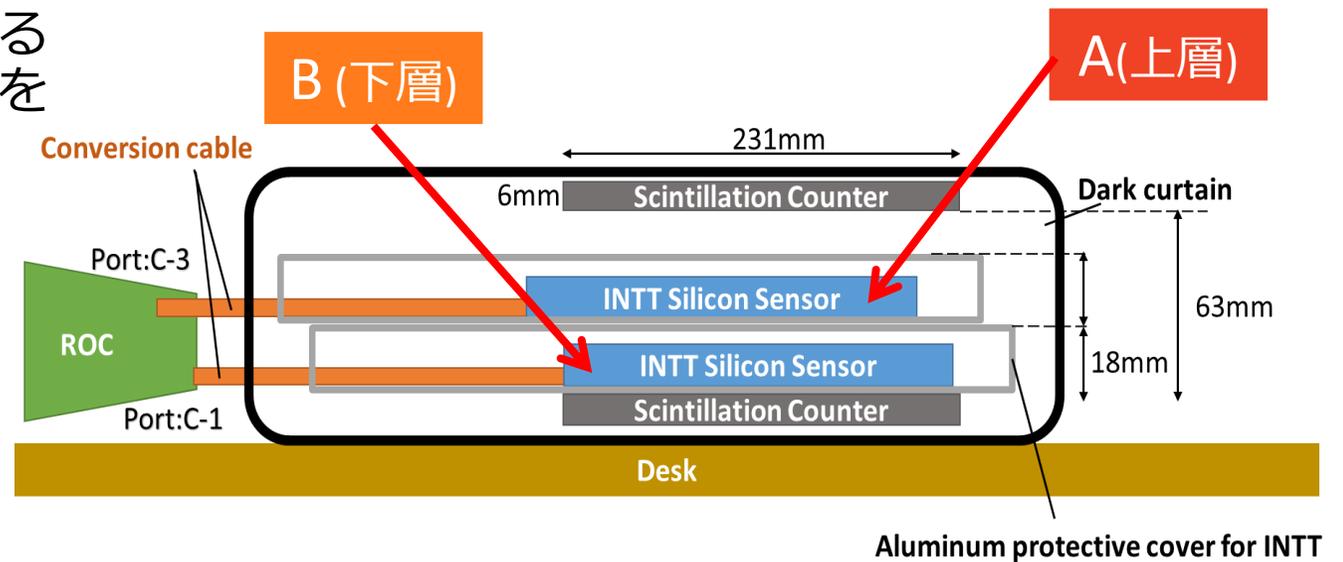
宇宙線測定の設定アップ

- シリコンセンサー2個
- シンチレーションカウンター 2個
(231mm×24mm×6mm)
- センサーは宇宙線だけでなく多くのノイズ信号も読み出す

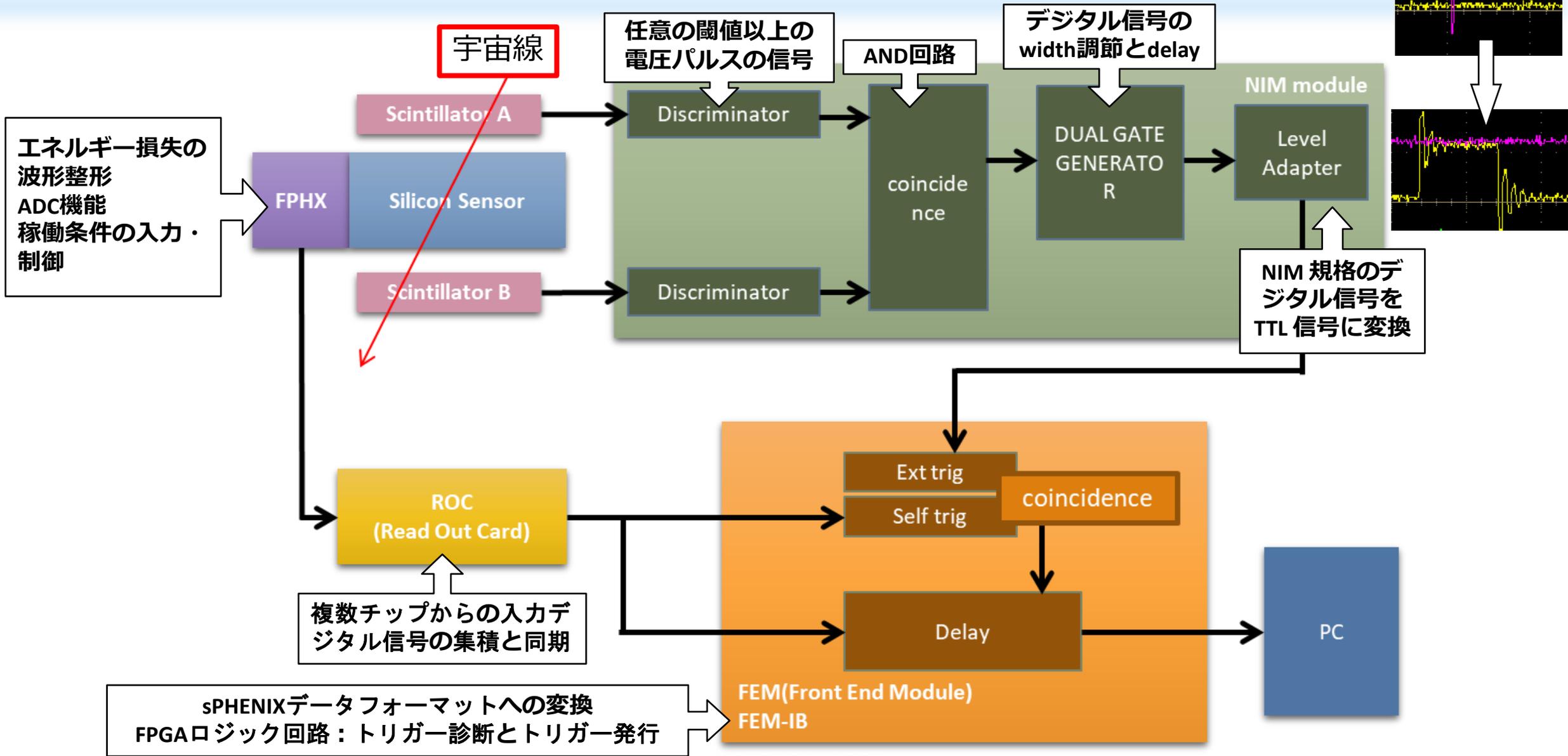
→シンチレーションカウンター2つによる外部トリガー信号とシリコンセンサーによる内部トリガー信号の Coincidence 信号を宇宙線測定のトリガーとして用いる。



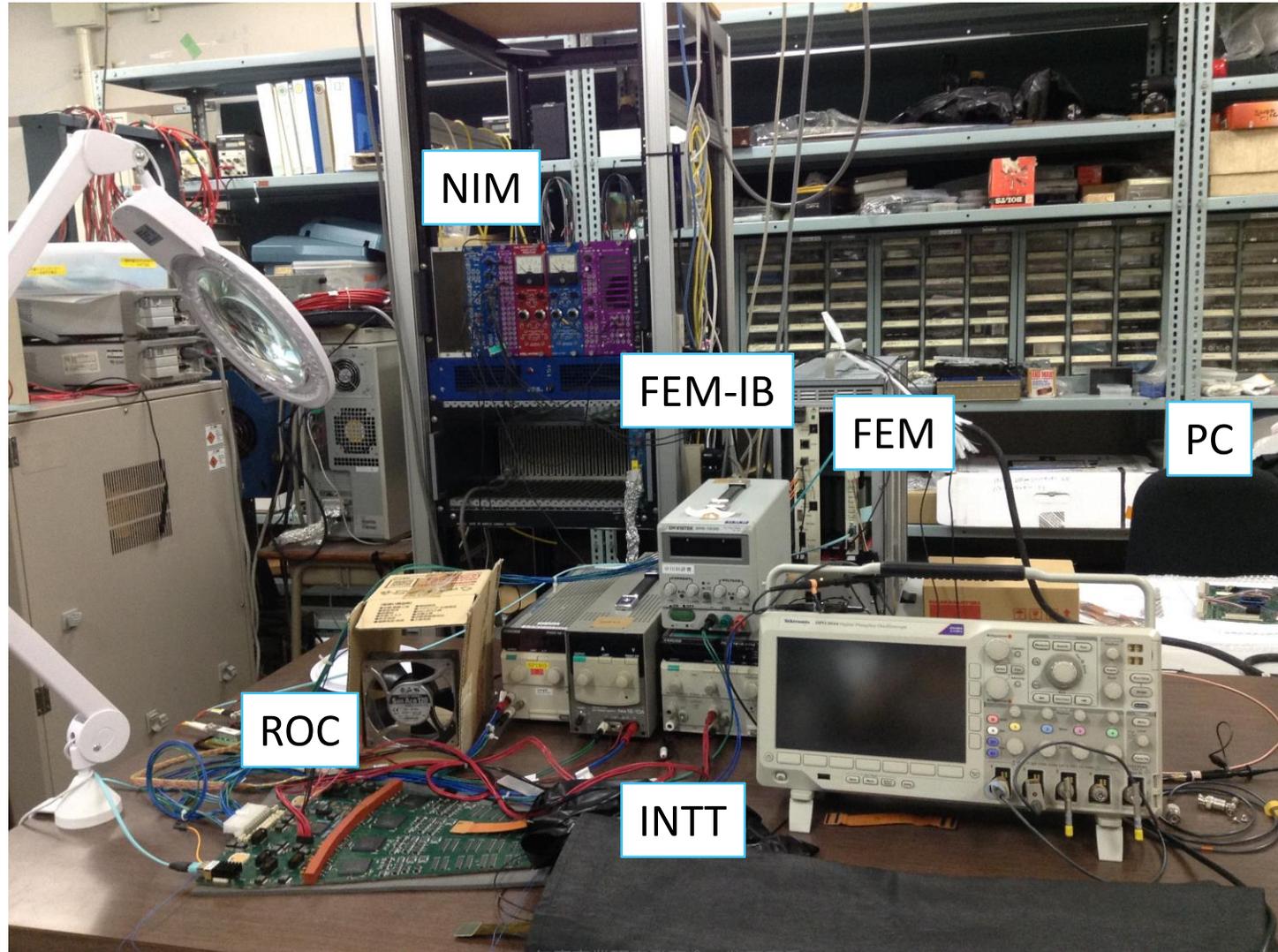
上図：シンチレーションカウンターとシリコンセンサーの設置状況



宇宙線測定を読み出し回路



宇宙線測定の設定アップ状況



□行った実験条件

1. シリコンセンサー 1つ
2. シリコンセンサー 2つ (今年初めて成功)

- シリコンセンサー : 320 μ m厚 2個
- 測定時間 : 162時間30分
- 全データ数 : 218606個
- DAC閾値設定
 - 最低測定可能値 : 270mV

下図：シリコンセンサー(銀色で囲まれてる部分)を2つ重ねて上下のシンチレーションカウンターで挟だ設置

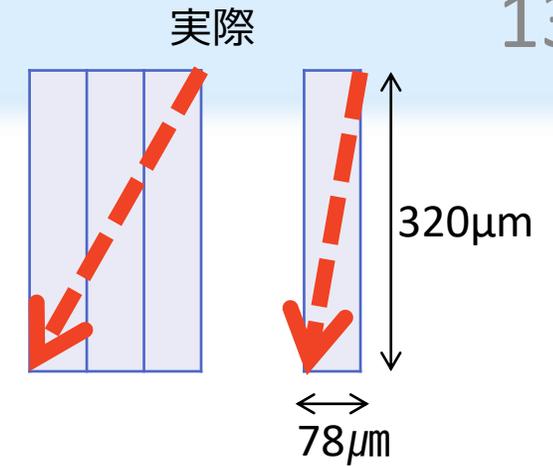
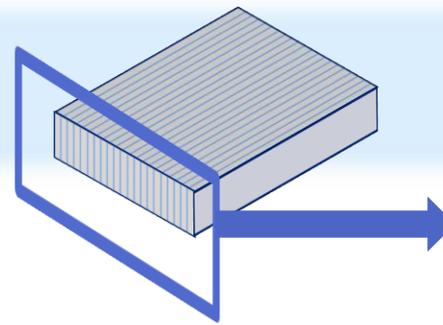


表：DAC閾値設定

DAC設定値	損失エネルギー[mV]
15	270
23	300
60	450
98	600
135	750
173	900
210	1050
248	1200

データ解析 クラスター化

- ストリップセンサー
- 斜めに通過すると、連続した複数のストリップでエネルギーを損失



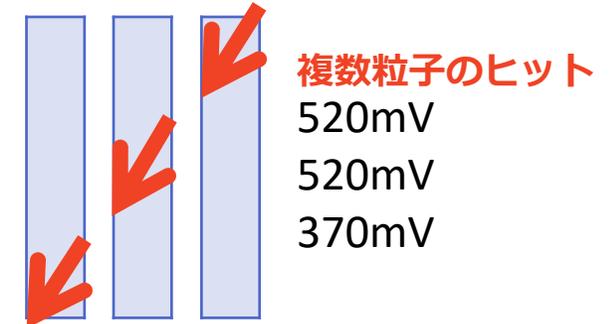
クラスター化前

1粒子によるエネルギー損失データが複数ストリップに分かれて記録

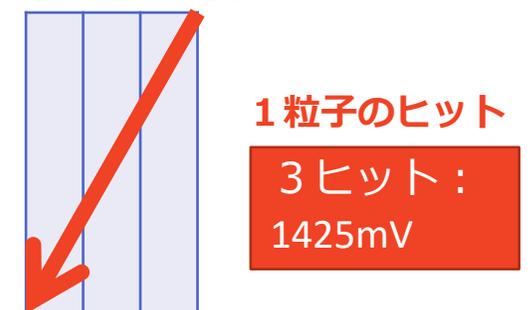


エネルギー損失データを **1粒子のイベント** として扱う

クラスター前



クラスター後



※通過ストリップ数

- 1 → 1 ヒット
- 2 → 2 ヒット
- 3 → 3 ヒット

イベント選定

1. 不要イベントの除去

- 存在しえないモジュール (amplitude>0, chip1~26以外, chan0~127以外)
- 機械的なノイズ

2. 宇宙線イベント選定

- 宇宙線が2つのセンサーを同時に通過する
 - 垂直に位置しているチップ、チャンネルのイベント
 - 1イベントあたりに1クラスターのみイベント

2. 宇宙線イベント選定

□選定条件

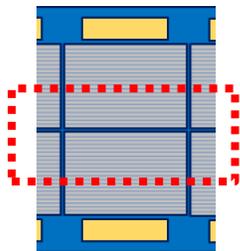
- 1イベントあたりに1クラスターのみ
- 垂直に位置しているチップ、チャンネルにヒット

Chip選択

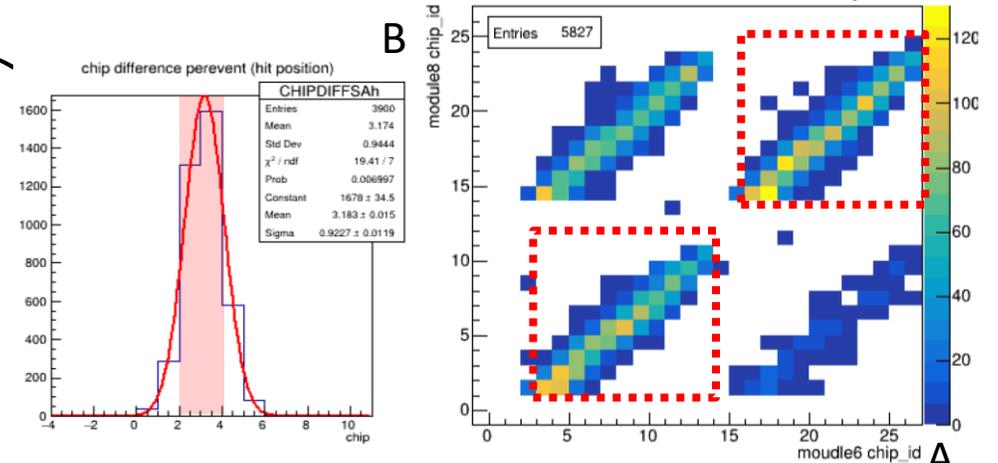
- 真上に存在するchipの組み合わせ
- Chip番号の差 = 2 ~ 3

Channel選択

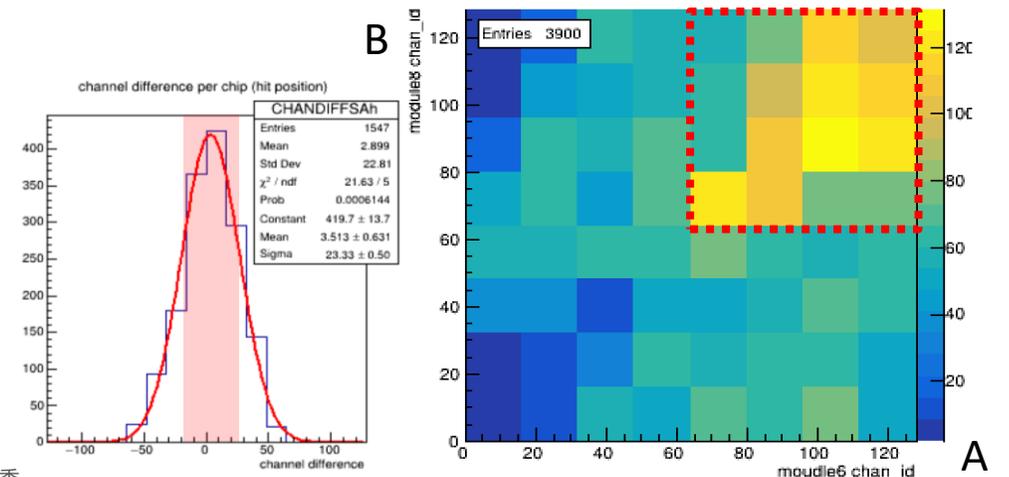
- モジュール中央のchannel番号の組み合わせ
- Channel番号の差 = -19 ~ 27



下右：2つのセンサーのヒットchip相関分布
 下左：2つのセンサーのヒットchip差

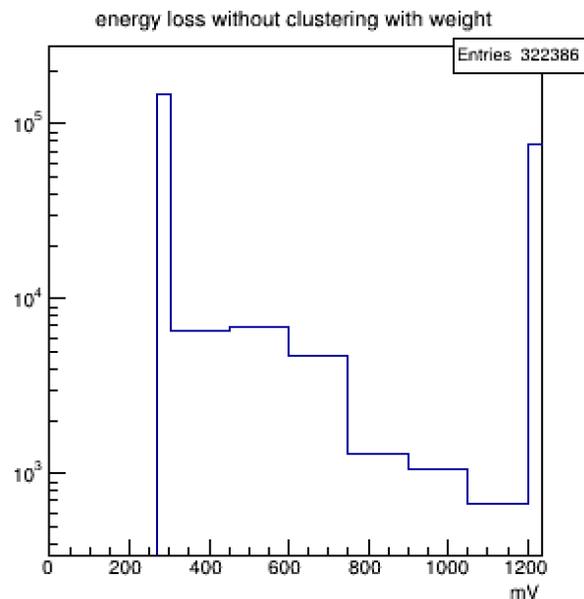


下右：2つのセンサーのヒットchannel相関分布
 下左：2つのセンサーのヒットchannel差

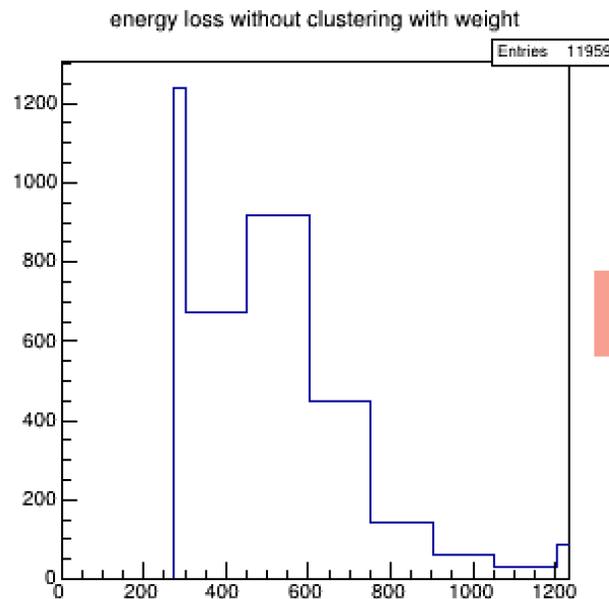
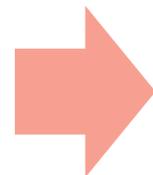


イベント選定の結果

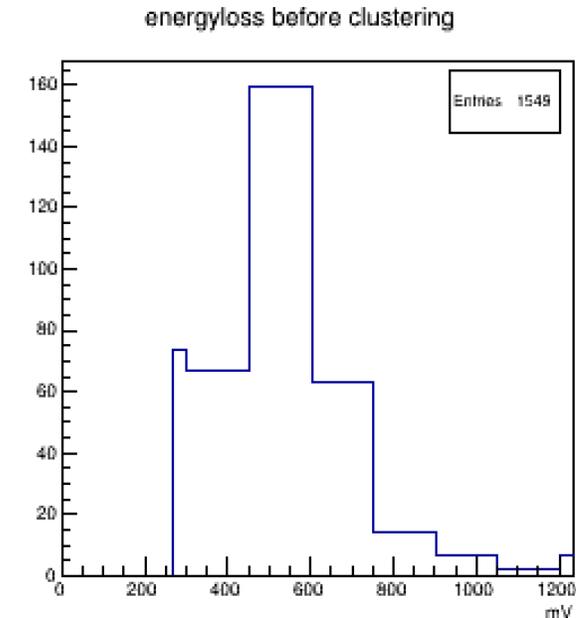
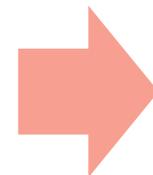
□損失エネルギー



上：不要データありの
損失エネルギー分布



上：不要データの除去後の
損失エネルギー分布



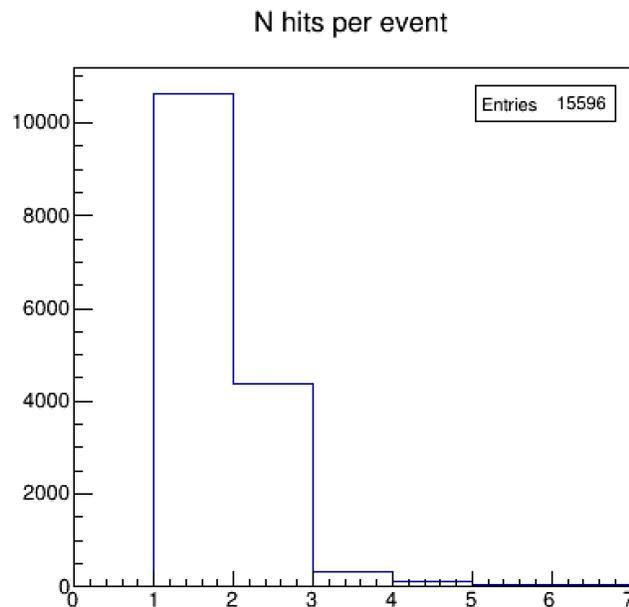
上：宇宙線イベント選定後の
損失エネルギー分布

450~600mVのピークが宇宙線損失のピーク

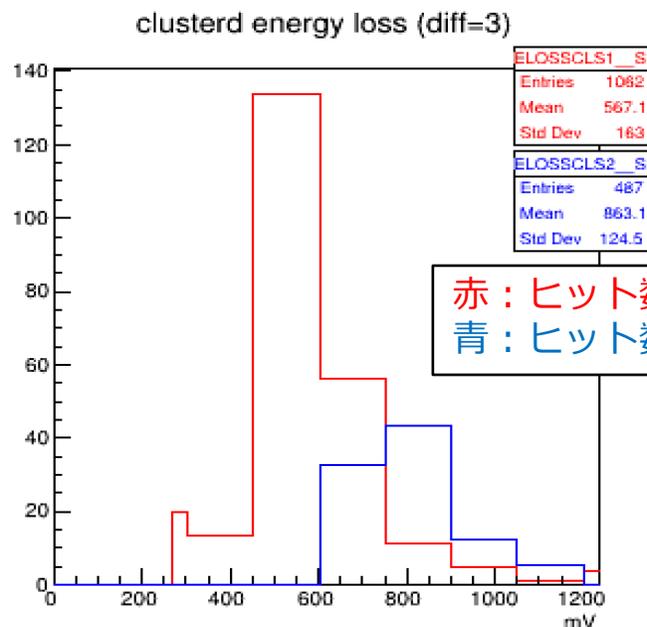
□ クラスタ化前の宇宙線のエネルギー損失分布

- 1 イベントあたりに含まれるヒット数
 - 約7割：ヒット数1
 - 約3割：ヒット数2

1 イベントあたり : 1粒子の通過あたり
ヒット数 : 1粒子が通過したストリップ数



上図：1 イベントあたりに含まれるヒット数



赤：ヒット数=1
青：ヒット数=2

1 ヒット → 450~600mV
2 ヒット → 750~900mV

上：ヒット数ごとの損失エネルギー分布

ヒット数によって損失エネルギーのピークが異なる。

宇宙線測定から得られた疑問

- ・ 予想損失エネルギー : $1.15\text{MeV} \cdot g^{-1} \cdot \text{cm}^2 \times 2.33\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} \times 0.032\text{cm} \times 10^6 \approx 8.6\text{keV}$

$$\frac{8.6\text{keV}}{3.67\text{eV}} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{15} \times \text{gain(増幅係数)} \rightarrow \text{mV}$$

※ゲイン値(増幅値) : 損失エネルギーの電荷[C]を[mV]に変換する値

先行研究の予想

- ・ ゲイン値 : $60\text{mV}/\text{fC} \times 5 \rightarrow 1100\text{mV}$

宇宙線測定の結果

- ・ 1ヒット→**450~600mV**、 2ヒット→**750~900mV**

→ 予想エネルギー損失と大幅に異なる。

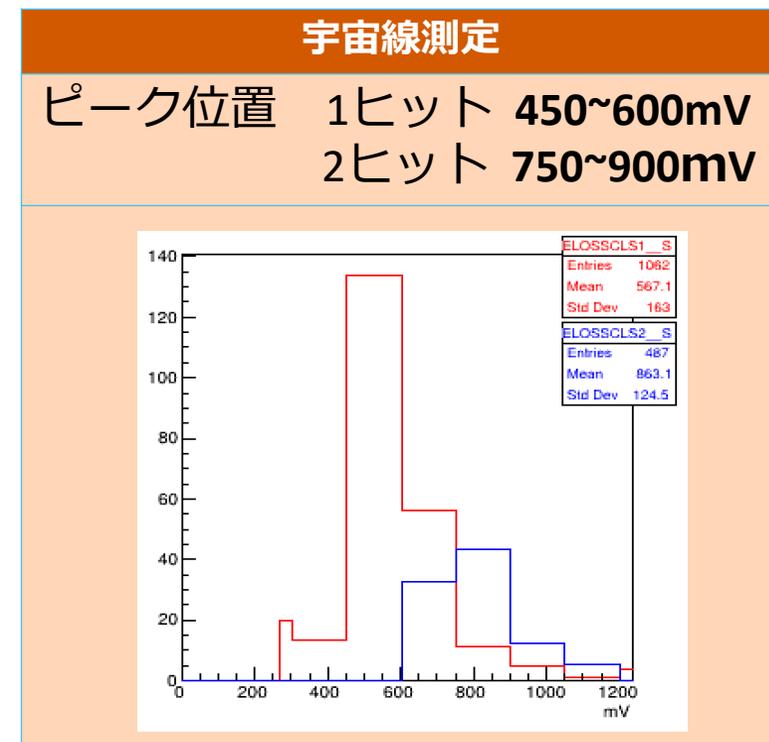
測定粒子は本当に宇宙線なのか？

議論点

- 適切なゲイン値や係数の選択
- 読み出し回路における測定データの変換

調べる方法

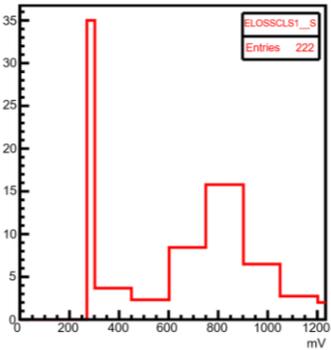
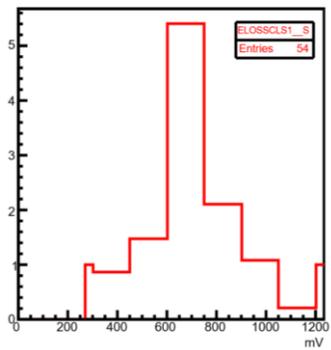
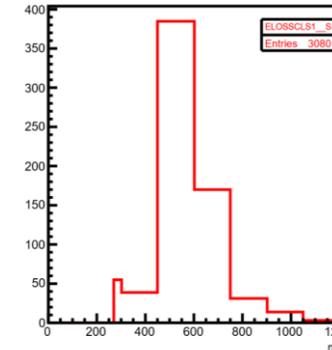
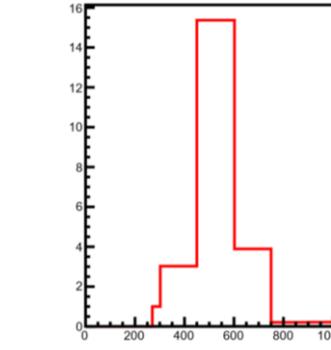
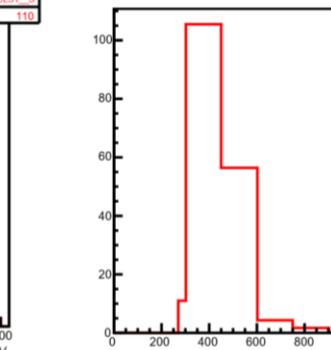
- ・ 測定によるゲイン設定の確認
- ・ μ 粒子による検出器応答をシミュレーションし、測定結果と照らし合わせる。



適切なゲイン値の決定

- これまで考えられていた入力値とゲイン値の関係に誤りがあるのではないか？

表：入力値とゲイン値の対応と測定エネルギー損失分布

入力値	0	1	2	3	5
ゲイン値 (約)	これまで 46×5	50×5	60×5	67×5	100×5
	今回 200	150	100	85	60
ピーク位置	750~900mV	600~750mV	450~600mV	450~600mV	300~450mV
					

赤：ヒット数 = 1

入力値を大きくするとピークが小さな値にシフトする。
→今回の入力値とゲインの対応関係は正しかった

- 320 μm 厚のシリコン通過時の予想エネルギー損失

$$\text{損失エネルギー} [mV] = 3.7fC \times \cancel{60mV/fC} \times 5 \approx \cancel{1100mV}$$

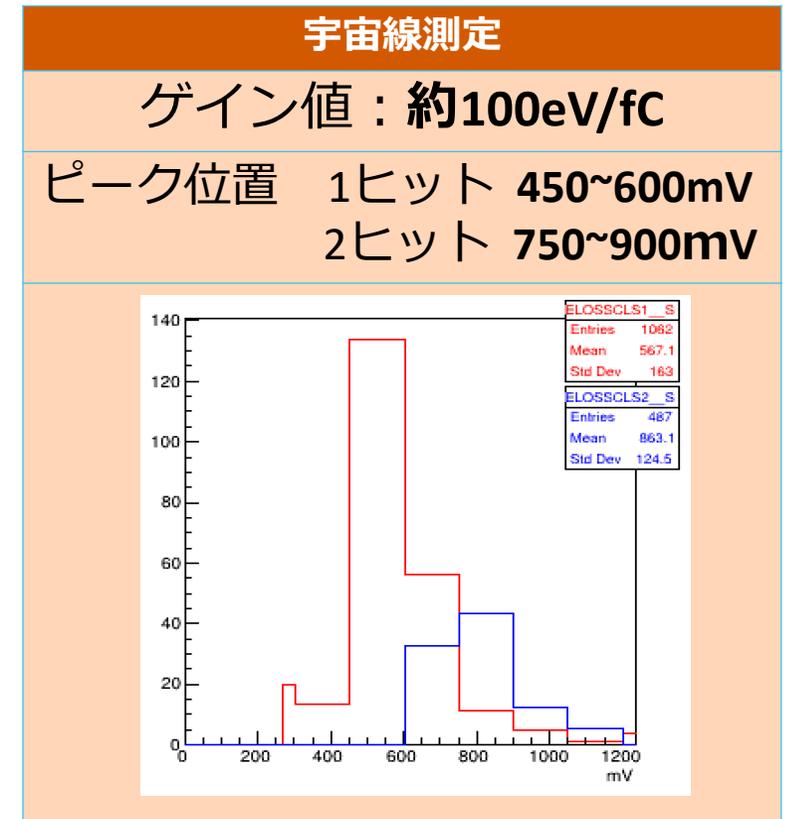
$$100mV/fC \approx 370mV$$

→宇宙線結果と予想のエネルギー損失は一致せず

→ゲイン値とは別の値が関与しているのではないか？

調べる方法

- 測定データにもともとオフセットがあることを想定し、シミュレーションを行う。



シミュレーションの流れ

□宇宙線測定で得られるデータをMCシミュレーションで生成する。

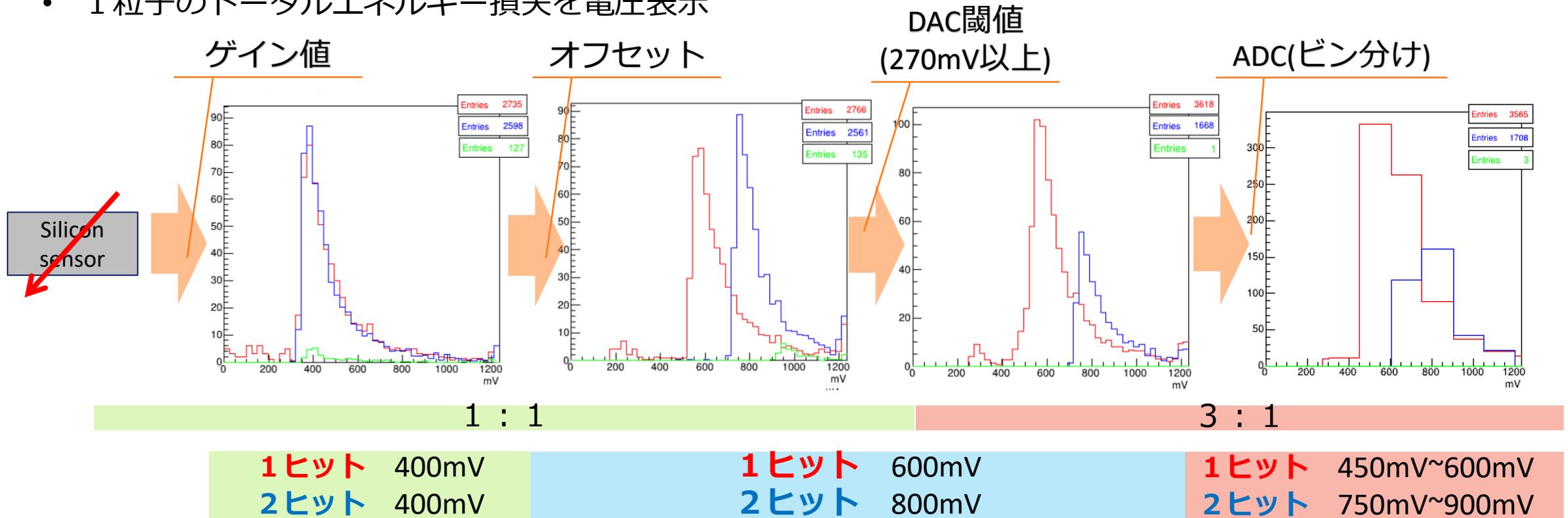
1. 宇宙線がシリコンセンサーを通過
 1. 宇宙線 μ 粒子をMCで発生させる。
 2. 上下シンチレータおよびシリコンセンサーを通過させる
2. シリコンセンサー中でエネルギー損失
 1. μ 粒子が通過したシリコンセンサー上面の座標からchip番号とchannel番号を取得
 2. 通過ストリップ数や通過距離、通過chip番号やchannel番号を取得
 3. ストリップごとにエネルギー損失を計算
3. 読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。
 1. 損失エネルギー → 電荷 (ゲイン) → mV (オフセット) → ADC (ビンに分ける)

□宇宙線測定と同じクラスター解析プログラムを実行

1. ヒットストリップをクラスターにまとめる
2. クラスターのADC分布を測定

読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。

- 1 粒子のトータルエネルギー損失を電圧表示



ヒット数によらず同じ損失エネルギー→異なる損失エネルギー

オフセット

→損失エネルギーの増加とピークの違い

DAC閾値

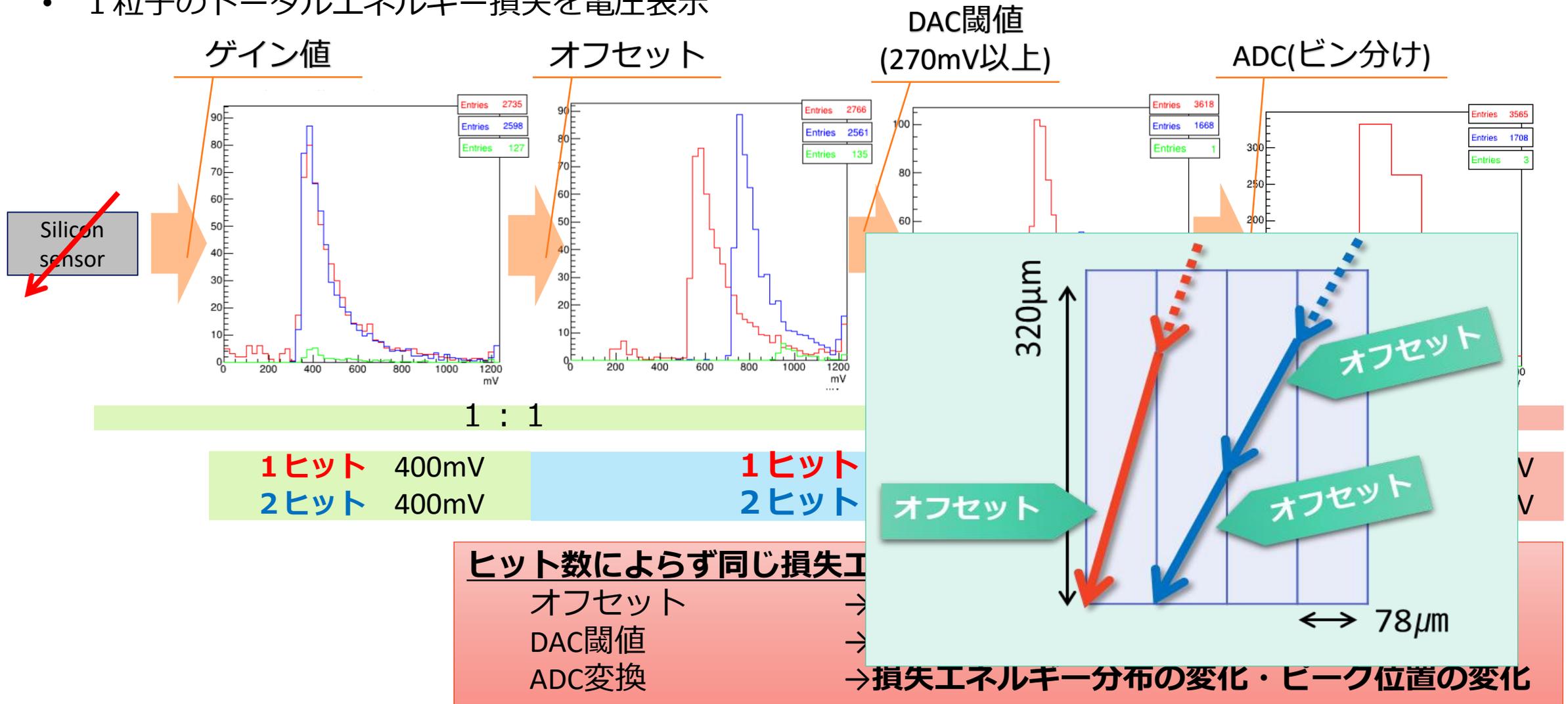
→出力されるヒット数の変化

ADC変換

→損失エネルギー分布の変化・ピーク位置の変化

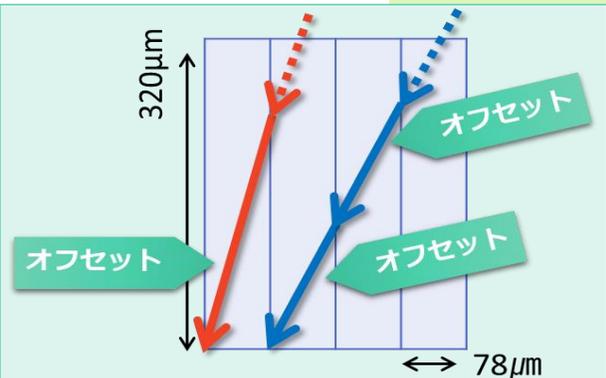
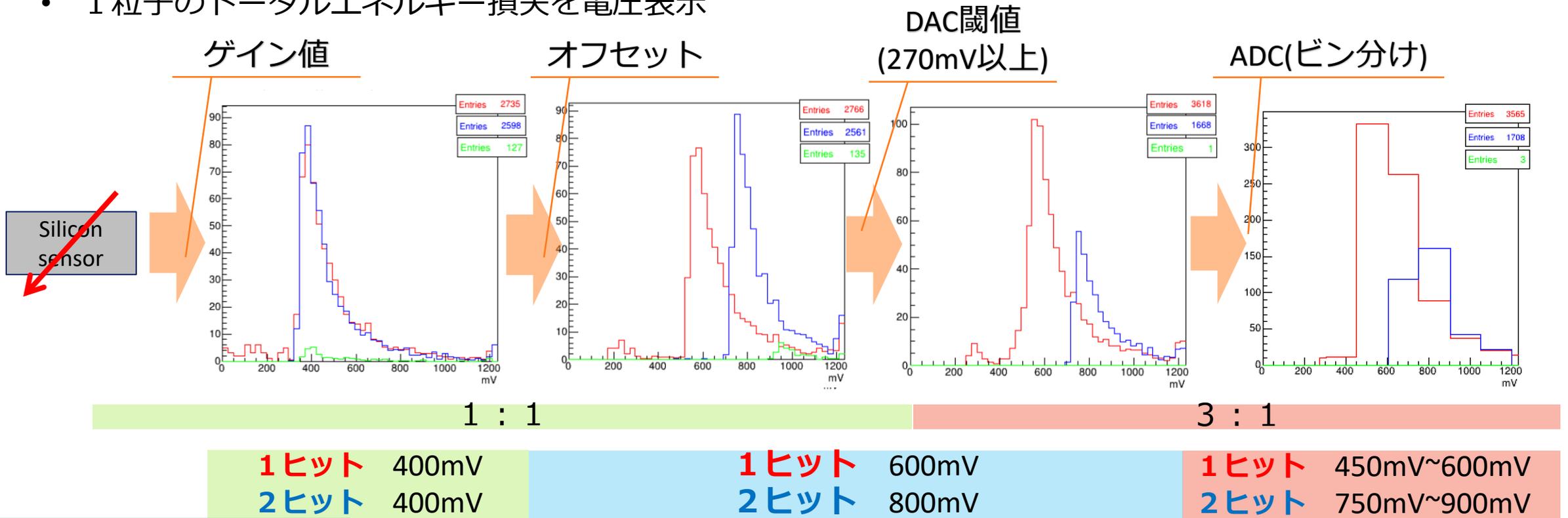
読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。

- 1 粒子のトータルエネルギー損失を電圧表示



読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。

- 1 粒子のトータルエネルギー損失を電圧表示



ヒット数によらず同じ損失エネルギー→異なる損失エネルギー

オフセット → 損失エネルギーの増加とピークの違い

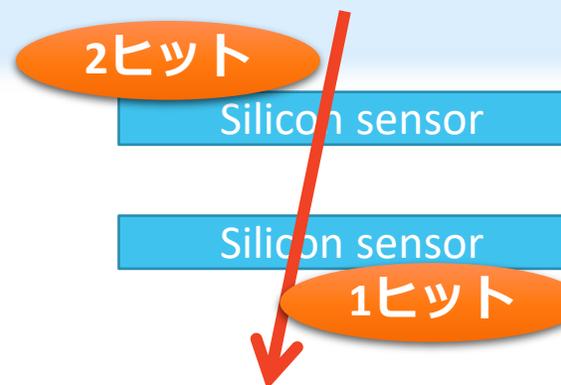
DAC閾値 → 出力されるヒット数の変化

ADC変換 → 損失エネルギー分布の変化・ピーク位置の変化

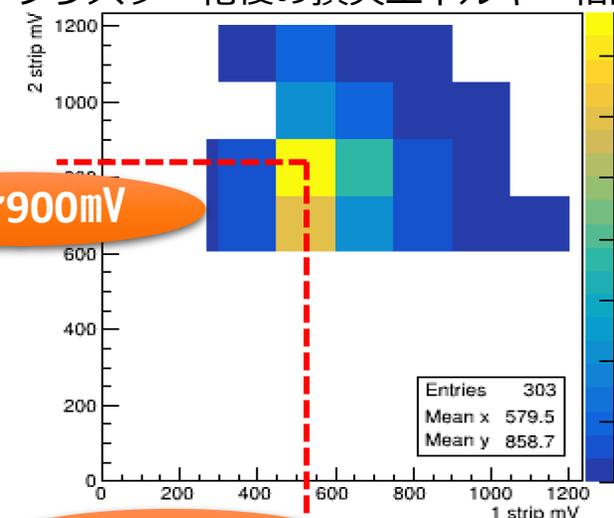
宇宙線測定結果から分かるオフセット

□測定結果

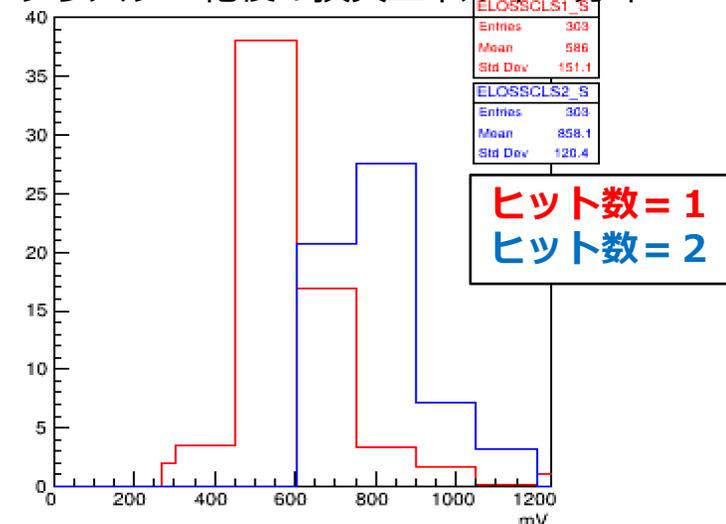
- 宇宙線はそれぞれ異なる運動量
- **ヒット数のみ**による**損失エネルギー分布**の変化を調べる
 - **同一粒子**で比較(同じ運動量、入射角度の粒子)
 - 同時に2つのセンサーに異なるヒット数のエネルギー損失があったイベント



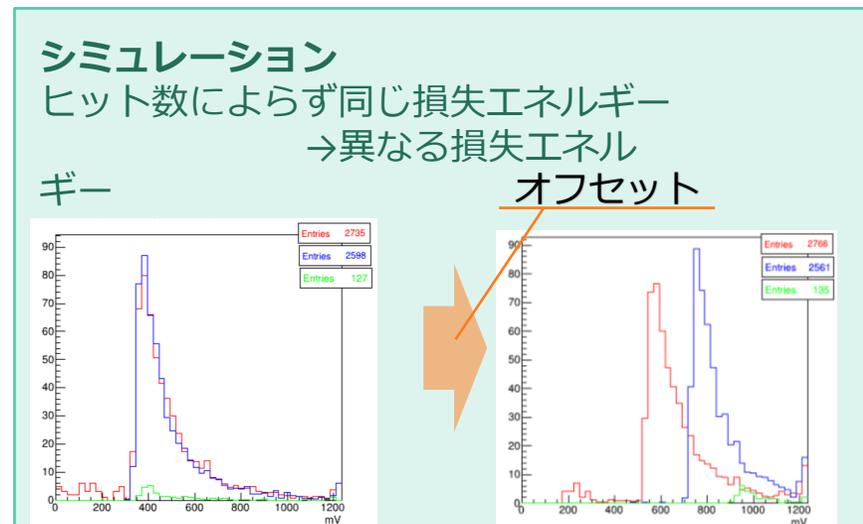
宇宙線測定：ヒット数1と2それぞれのクラスタ化後の損失エネルギー相関



宇宙線測定：クラスタ化後の損失エネルギー分布



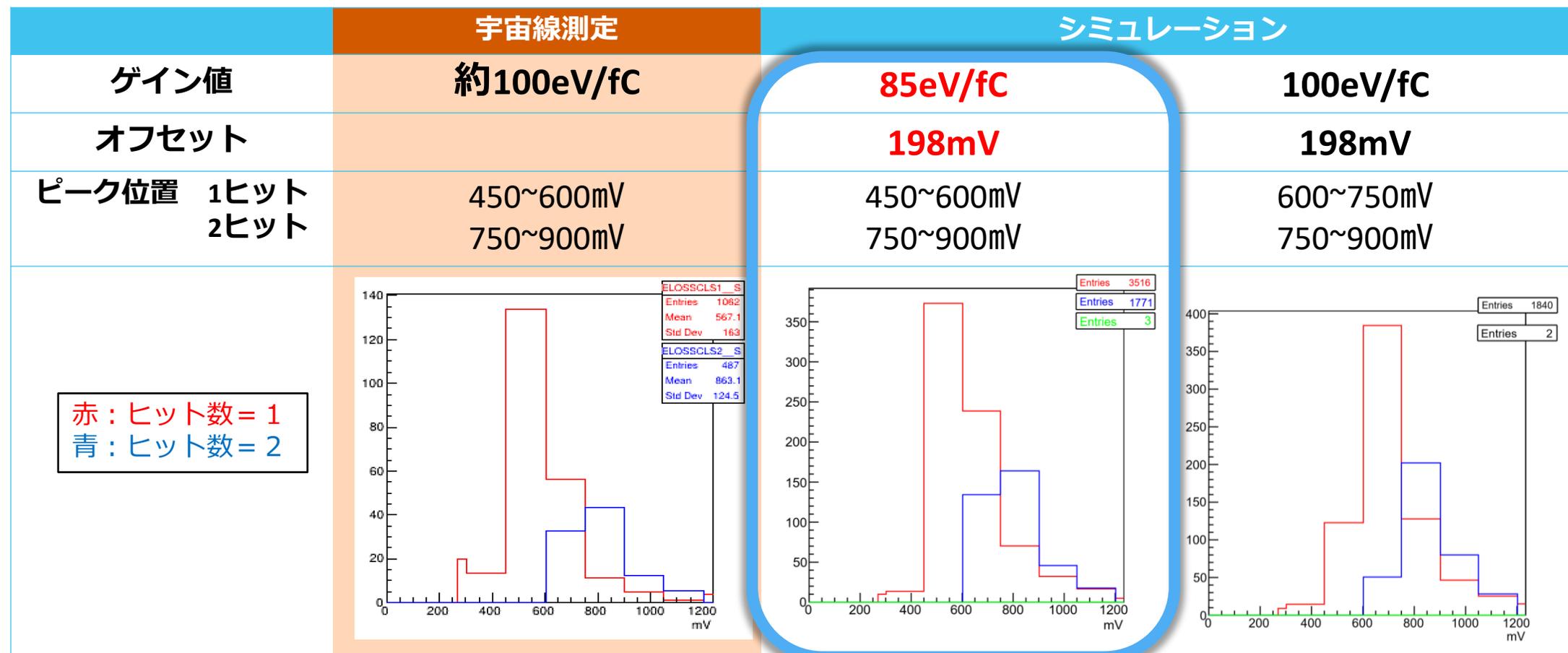
ヒット数=1
ヒット数=2



同一粒子でも、ヒット数の違いのみによりエネルギー損失のピークに差
オフセットの存在は妥当である。

宇宙線測定とシミュレーションの比較

表：ゲイン値の対応と測定エネルギー損失分布



・ゲイン値85eV/fC、オフセット198mVの時、もっとも宇宙線のデータに近い
本研究で測定した粒子は宇宙線であり、宇宙線のエネルギー損失分布のピークを確認できた。

まとめ

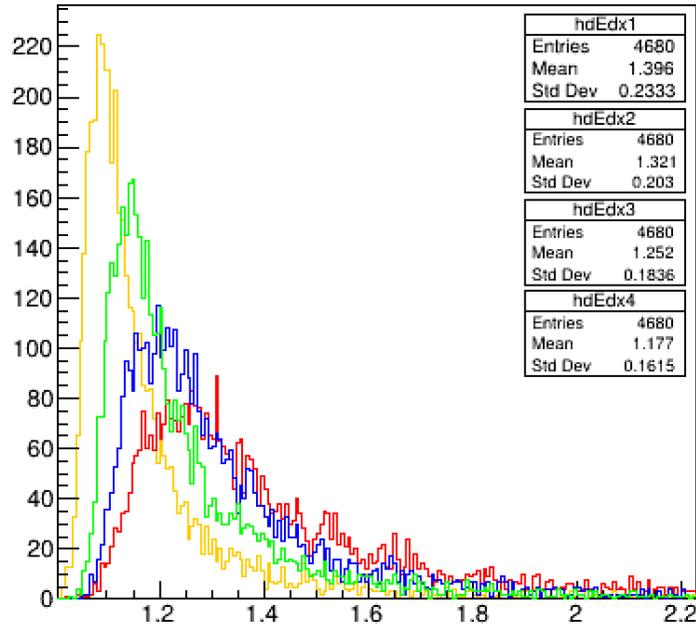
- シリコンセンサーを用いた宇宙線測定とクラスター化解析に成功した。
- sPHENIX実験のシリコンセンサーモジュール増産時の動作確認の指標のため、センサーのデータ測定能力を評価
 - ヒット数によって損失エネルギー分布とピークが異なって読み出される。
 - FPHXのチャンネルごとの読み出しにオフセットが存在する。
- 設定値とゲイン値の対応関係の改善
- INTT用シリコンセンサーを用いた実験や動作確認で使用すべきゲイン値とオフセットの候補

- DAC設定値変更し測定した際にも、ヒット数により分布が異なるか。
- シンチレーションカウンターでも宇宙線のエネルギー損失を測定できるようにし、シリコンセンサーのデータと照らし合わせる。
- シリコンセンサー2つ用いた測定をシュミレーションで再現できるようにする。

Back up

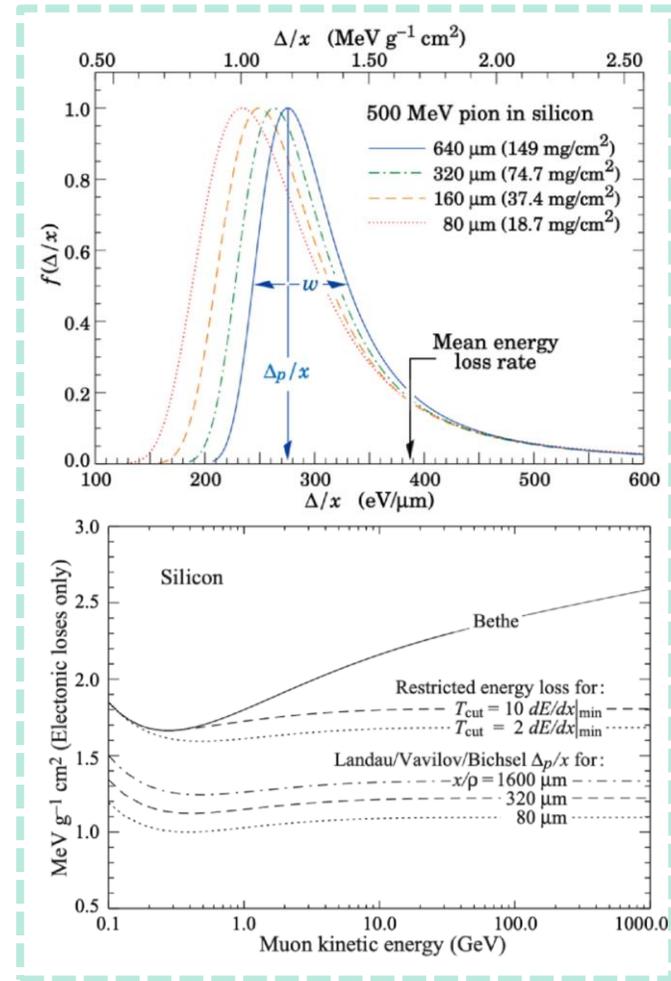


荷電粒子のエネルギー損失 ランダウ分布(dE/dx)



hdEdx1	
Entries	4680
Mean	1.396
Std Dev	0.2333
hdEdx2	
Entries	4680
Mean	1.321
Std Dev	0.203
hdEdx3	
Entries	4680
Mean	1.252
Std Dev	0.1836
hdEdx4	
Entries	4680
Mean	1.177
Std Dev	0.1615

Thickness	MPV	Sigma
640 micrometer	1.24908e+00	6.94348e-02
320 micrometer	1.19624e+00	5.01220e-02
160 micrometer	1.14599e+00	3.59100e-02
80 micrometer	1.09179e+00	2.55534e-02



Wmax61.0771 k2=9.31123e-05
 -0.0694692
 Wmax61.0771 k2=9.28382e-05
 -0.0692814
 Wmax61.0771 k2=0.000111652 → $\kappa < 0.01$

Sigma for Landau distribution :

$$\xi = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \left(\frac{z}{\beta}\right)^2 \chi$$

$$\sigma^2 = \frac{\xi^2}{\kappa} \frac{1 - \beta^2}{2}$$

$$\Delta_{mp}$$

$$= \xi * \text{Ln} \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{0.000173} \right) + \text{Ln} \left(\frac{\xi}{0.000173} \right)$$

$$+ 0.2 - \beta^2 - 0.1$$

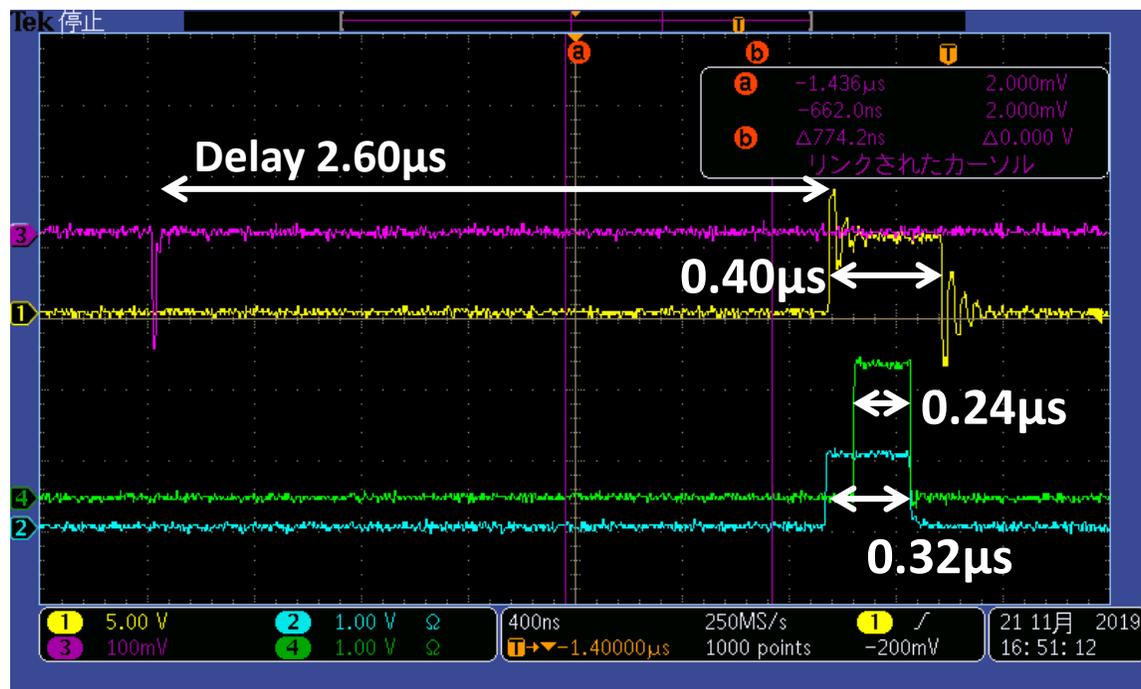
N_a : Avogadro's number
 r_e : classical electron radius
 $m_e c^2$: electron mass $\times c^2$
 ρ : density
 Z : atomic number of absorber
 A : atomic mass of absorber
 z : electron number
 $\beta = \frac{v}{c} = 0.99233$
 χ : absorber thickness
 σ^2 : gauss variance or landau variance
 W_{max} = maximum energy transfer in a single collision
 $\kappa = \frac{\xi}{W_{max}}$

`double dEdx = gRandom->Landau(deltamp/(0.0001*x*density), sigma);`

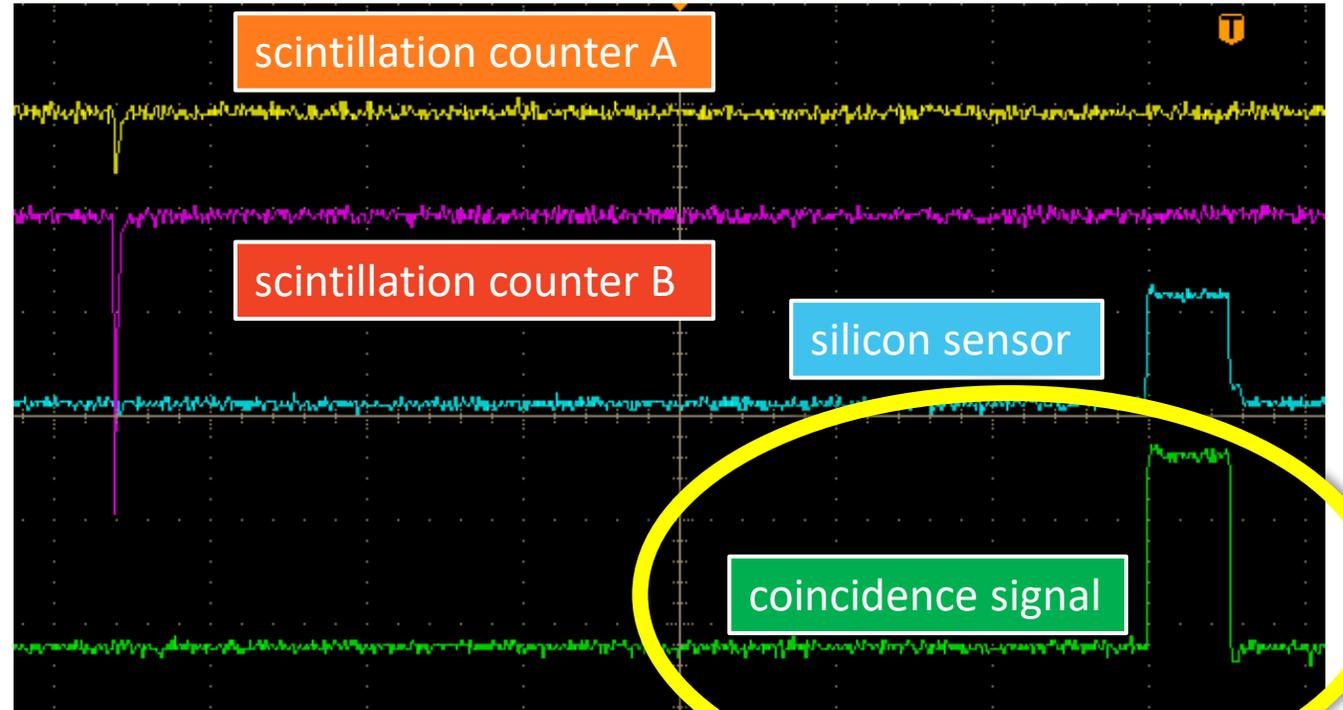
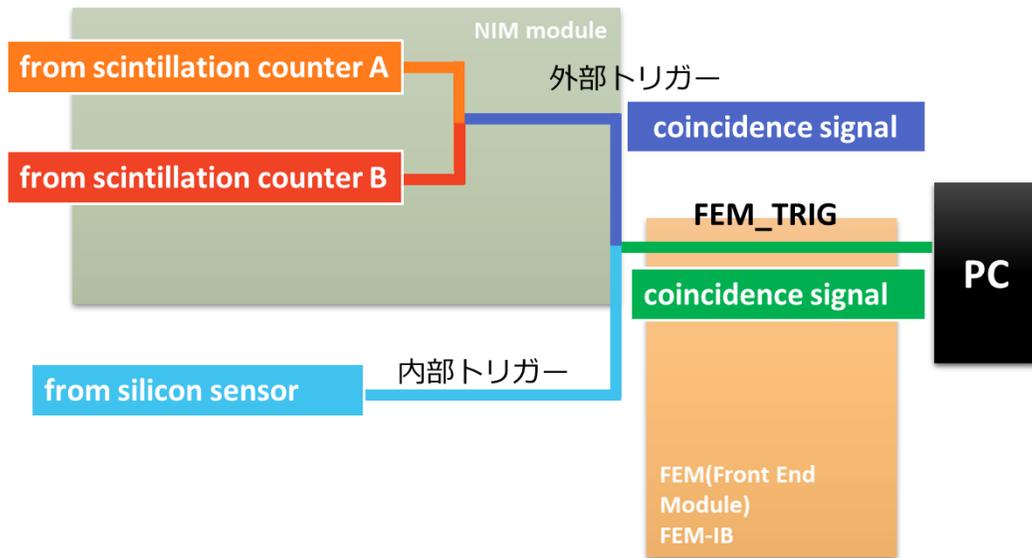
This slide shows the calculation for sigma of Landau distribution

トリガーの設定

- FEMへの入力信号TRIG_INが宇宙線トリガーとAND処理後のトリガーの波形の幅よりも大きくなるように設定する。



- ① シンチレーションカウンタからの宇宙線アナログ信号
- ② 宇宙線アナログ信号が NIM 規格を通過後TTL信号に変換された出力(FEMへの入力信号TRIG_IN)
- ③ シリコンの宇宙線トリガー信号 (LVL1_ACCEPT_SELF_TRIG)
- ④ 信号②と信号③のコインシデンスをとったトリガー信号(FEM_TRIG)



クラスター化の流れ

・不要データの除去

1. 配列に入れる。

・ `int hit○○[27][800]; //[chip_id][ヒット数(channel_idでない)]`

2. チャンネル番号で配列を並び替える

3. 1 イベントに含まれるクラスター数を調べる。

4. クラスター数が 1 以上のチップ番号のデータをクラスター化する。

- 1 chipのヒット数がクラスターに使われるヒット数（ストリップ数）に等しい時→Nhits=(1 chipのヒット数)とし、クラスター化する。
- チャンネル番号が連続の時→ヒット数(ストリップ数)増やす。Nhits++;
- チャンネル番号が連続でない時→ヒット数(ストリップ数) (Nhits)分をクラスター化する。

ADCからmVへの変換

- 出力データは3bitのadcとしてあらわされている。
- このadcを決定するために8bitのDAC設定ができる。

表：DAC閾値設定

DAC	DAC設定値	損失エネルギー[mV]	損失エネルギー[mV]	ADC
0	15	270	290~300	0
1	23	300	300~450	1
2	60	450	450~600	2
3	98	600	600~750	3
4	135	750	750~900	4
5	173	900	900~1050	5
6	210	1050	1050~1200	6
7	248	1200	1200~1234	7

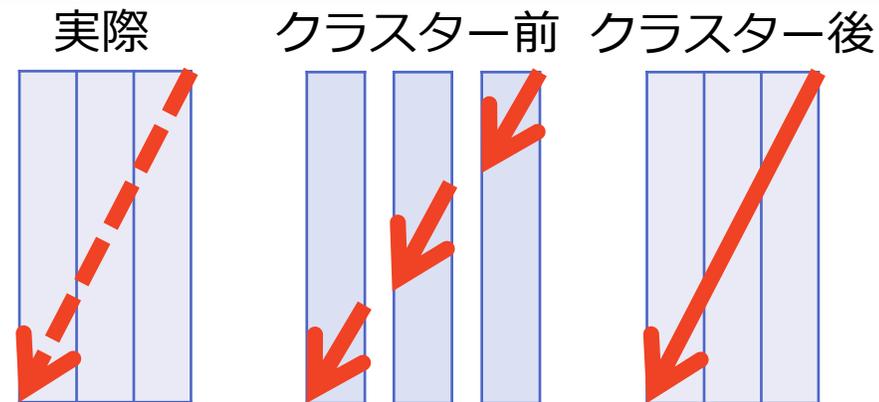
PC上でDACを設定

FPHXチップ内で転換されデータとしてPCに記録される

得られるadcの値とそのDAC設定値とチップ増幅値の関係
 $\text{DAC設定値} \times 4 + 210 = \text{損失エネルギー[mV]}$

- クラスター化

- ストリップセンサー
- 多くの宇宙線はセンサーを垂直に通過するが、斜めに通過した場合、連続した複数のストリップでエネルギーを損失する。
- 解析前のデータでは、この1ヒットによる複数ストリップのデータが別々の複数ヒットとして記録されている。
- センサーで宇宙線測定を確認するためには、この複数ストリップの損失エネルギーを足し合わせて1クラスターと処理しなければならない。



表：DAC閾値設定

DAC設定値	チップ増幅値mV
15	270
23	300
60	450
98	600
135	750
173	900
210	1050
248	1200

表：通過ストリップ数ごとの予想エネルギー損失（1イベントの1ストリップ内）

	1hit	2hits	3hits
Sum Max	384mV	416mV	463mV
Sum min	374mV	384mV	384mV

クラスター化前

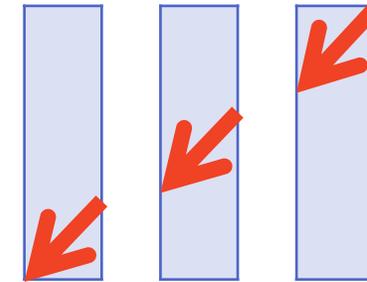
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=53	abc=2
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=31	abc=1
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=32	abc=1
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=54	abc=2
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=55	abc=1

1クラスター
1クラスター
1クラスター
1クラスター
1クラスター

クラスター化後

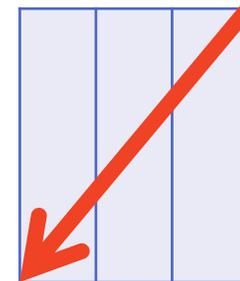
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=31	abc=1
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=32	abc=1
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=53	abc=2
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=54	abc=2
clk	bco=51	bco_full=58163	data: chip_id=7	chan_id=55	abc=1

※Bco_full≈6ms
Bco≈800μs



クラスター化前の1クラスター数=5

クラスター化後のクラスター数(Ncls)=2



クラスター化の流れ

DAC設定値からチップ増幅値への変換

得られるadcの値とそのDAC設定値とチップ増幅値の関係

DAC設定値*4+210=損失エネルギー[mV]

DAC設定値	損失エネルギー[mV]	adc	損失エネルギー[mV]	損失エネルギー平均[mV]
20	290	0	290~300	290±5
23	300	1	300~450	370±75
60	450	2	450~600	520±75
98	600	3	600~750	670±75
135	750	4	750~900	820±75
173	900	5	900~1050	970±75
210	1050	6	1050~1200	1120±75
248	1200	7	1200~1234	1212±17

chan_id=53 abc=2 → 450~600 mV → 520±75 mV
 chan_id=54 abc=2 → 450~600 mV → 520±75 mV
 chan_id=55 abc=1 → 300~450 mV → 370±75 mV

} 1425±225 mV

pre:chip=6 chan=106 adc=1 bco=5 bco_full=28293 event=163
pre:chip=6 chan=107 adc=2 bco=5 bco_full=28293 event=164
pre:chip=7 chan=117 adc=0 bco=5 bco_full=28293 event=165
pre:chip=7 chan=118 adc=2 bco=5 bco_full=28293 event=166

nHitChip=2

bco=28293 chan=106 chip=6 adc=1

bco=28293 chan=107 chip=6 adc=2

nHitChip=2

bco=28293 chan=117 chip=7 adc=0

bco=28293 chan=118 chip=7 adc=2

pre:chip=18 chan=39 adc=3 bco=47 bco_full=36399 event=204
pre:chip=20 chan=101 adc=2 bco=47 bco_full=36399 event=205
pre:chip=1 chan=100 adc=2 bco=47 bco_full=57263 event=206

nHitChip=1

bco=36399 chan=39 chip=18 adc=3

nHitChip=1

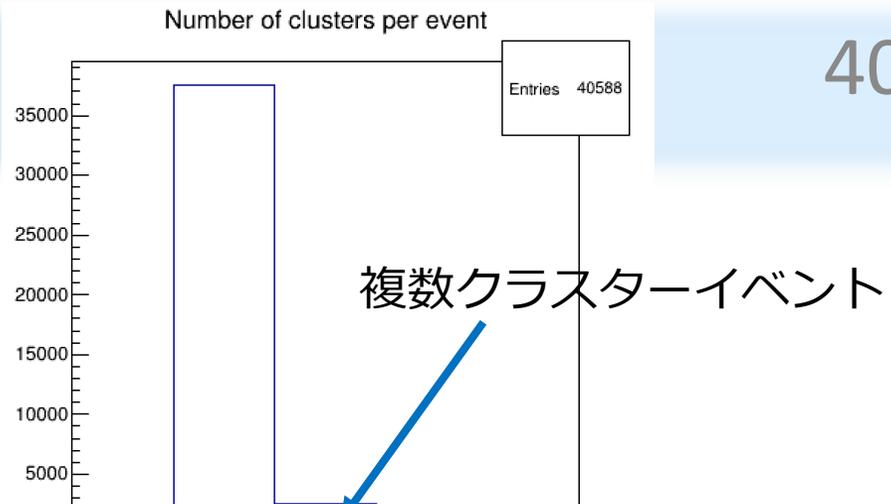
bco=57263 chan=100 chip=1 adc=2

nHitChip=1

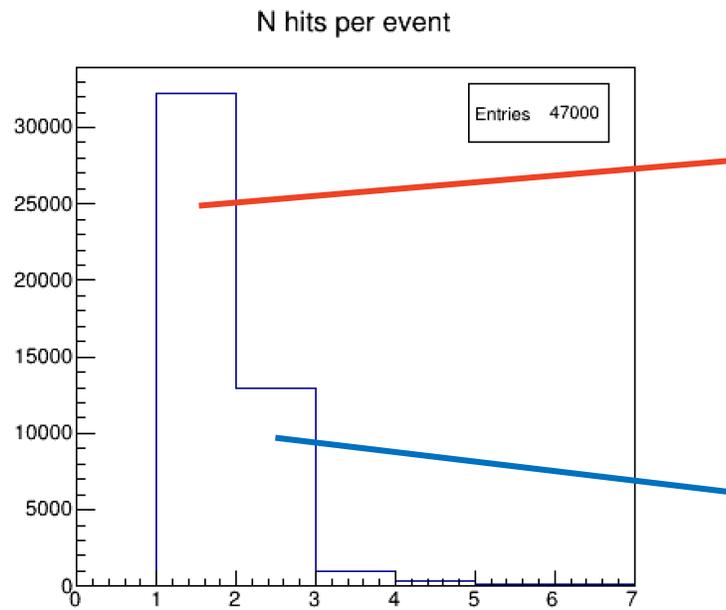
bco=36399 chan=101 chip=20 adc=2

イベント選定

- ノイズデータ除去：複数クラスターイベントあり
- 宇宙線イベント選定：複数クラスターイベントなし

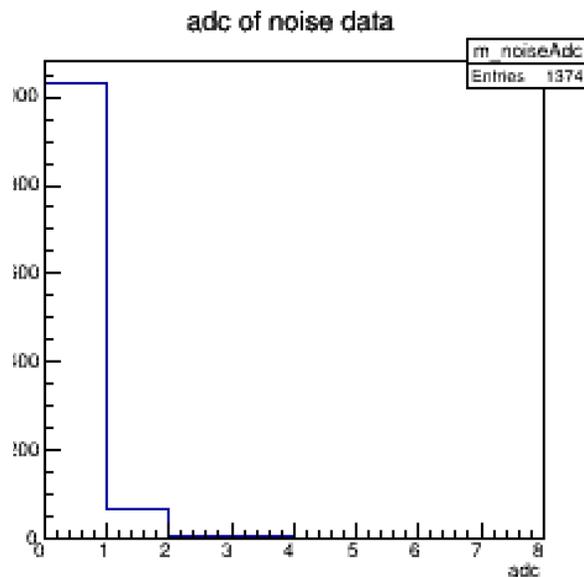
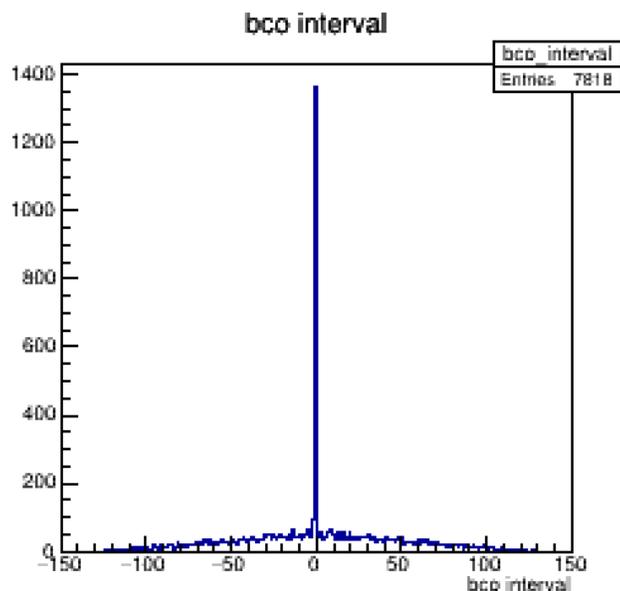


連続ヒット数(連続ストリップ数)



1. ノイズデータの除去

- 隣り合うbco, Bco_fullで同じchan_id, chip_idを持つヒットを含むイベント
 - このイベントは多い
 - gain=60の時、約9.7%(260個/2700)がこのヒット
 - このヒットのエネルギー損失の大半はadc=0
 - 機械的なノイズ? 解析しない



```

module==8 pre :chip=25 chan=40  adc=0 bco=126 bco_full=17022
              new :chip=25 chan=40  adc=0 bco=127 bco_full=17023
module==6 pre :chip=3  chan=84  adc=0 bco=126 bco_full=17022
              new :chip=3  chan=84  adc=0 bco=127 bco_full=17023
module==8 pre :chip=26 chan=3   adc=0 bco=93  bco_full=4317
              new :chip=26 chan=3   adc=0 bco=94  bco_full=4318
module==6 pre :chip=17 chan=87  adc=1 bco=93  bco_full=4317
              new :chip=17 chan=87  adc=1 bco=94  bco_full=4318
module==8 pre :chip=25 chan=60  adc=1 bco=20  bco_full=19988
              new :chip=25 chan=60  adc=1 bco=21  bco_full=19989
module==6 pre :chip=17 chan=105 adc=0 bco=20  bco_full=19988
              new :chip=17 chan=105 adc=0 bco=21  bco_full=19989
module==8 pre :chip=24 chan=9   adc=0 bco=9   bco_full=20233
              new :chip=24 chan=9   adc=0 bco=10  bco_full=20234
module==6 pre :chip=3  chan=118 adc=0 bco=9   bco_full=20233
              new :chip=3  chan=118 adc=0 bco=10  bco_full=20234
module==8 pre :chip=11 chan=57  adc=1 bco=120 bco_full=5752
              new :chip=11 chan=57  adc=1 bco=121 bco_full=5753
module==6 pre :chip=2  chan=50  adc=1 bco=120 bco_full=5752
              new :chip=2  chan=50  adc=1 bco=121 bco_full=5753
module==8 pre :chip=24 chan=126 adc=0 bco=94  bco_full=23134
              new :chip=24 chan=126 adc=0 bco=95  bco_full=23135
module==6 pre :chip=15 chan=107 adc=0 bco=94  bco_full=23134
              new :chip=15 chan=107 adc=0 bco=95  bco_full=23135

```

2. 宇宙線イベント選定

□選定条件

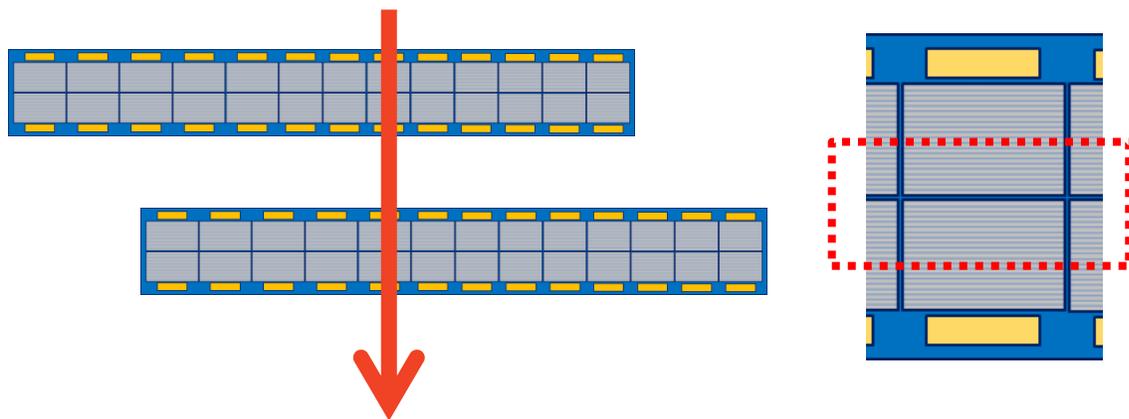
- 1イベントあたりに1クラスターのみ
- 垂直に位置しているチップ、チャンネルにヒット

Chip選択

- 真上に存在するchipの組み合わせ
- Chip番号の差 = 2 ~ 3

Channel選択

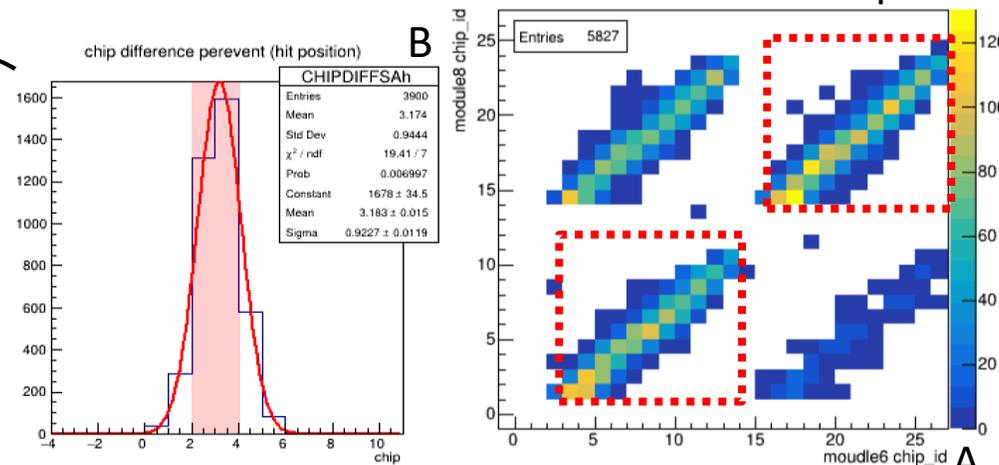
- モジュール中央のchannel番号の組み合わせ
- Channel番号の差 = -19 ~ 27



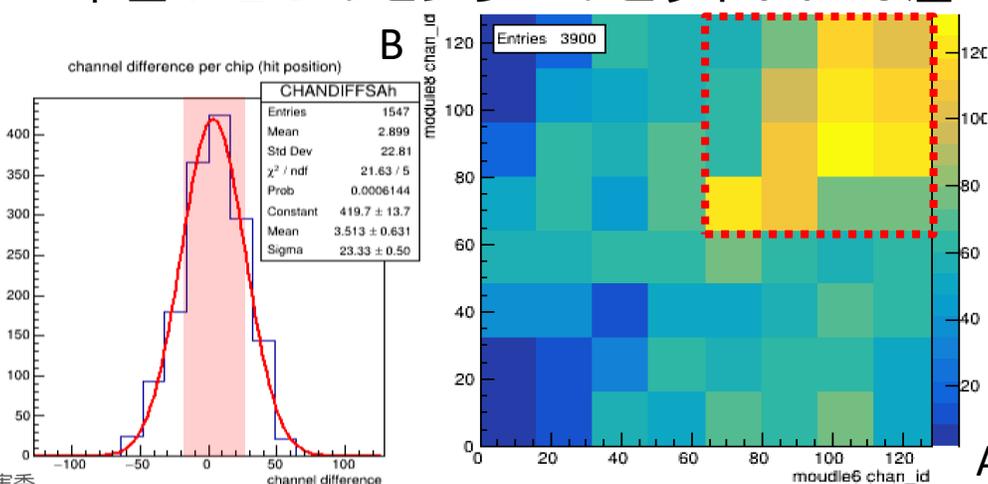
2/21/2020

2019年度卒業研究発表会 柴田実香

下右：2つのセンサーのヒットchip相関分布
下左：2つのセンサーのヒットchip差



下右：2つのセンサーのヒットchannel相関分布
下左：2つのセンサーのヒットchannel差



適切なゲイン値の決定

- ゲイン値設定は、デフォルトの場合

$C_{fb} = 25fF + [(8.6fF)(G_{Sel} < 0 >) + (25fF)(G_{Sel} < 1 >) + (50fF)(G_{Sel} < 2 >)]$ という、抵抗値で表されている。
よって、補正項5を掛け合わせてあらわされるゲイン値は、約{46, 50, 60, 67, 85, 100, 150, 200} mV/fCとなる。

- GSel<2:0>**: determines integrator feedback capacitance $C_{fb} = 25fF + [(8.6fF)(G_{Sel} < 0 >) + (25fF)(G_{Sel} < 1 >) + (50fF)(G_{Sel} < 2 >)]$. Default = 010. ←
- With a fixed shaper gain of about 5, the nominal system transfer gain can then be set to approximately 46, 50, 60, 67, 85, 100, 150, or 200 mV/fC. ←

- シミュレーションと宇宙線測定の結果の比較より考えられる、GSelに入力する数とゲイン値の対応表

ゲイン値		46	50	60	67	85	100	150	200
設定値	改善前	0	1	2	3	4	5	6	7
	改善後	7	6	5	4	3	2	1	0

例) “GSel=2”の時、ゲイン値は100 mV/fC。(×5はしない。)

実際の解析に使うべきエネルギー損失の計算式は、

$$\frac{1.15MeV \cdot g^{-1} \cdot cm^2 \times 2.33g \cdot cm^{-3} \times 0.032cm \times 10^6}{3.67eV} \approx \mathbf{23000electrons}$$

Sum of electron which generated in silicon sensor

$$23000electrons \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{15} \approx 3.7fC$$

$$3.7fC \times 60mV/fC \times 5 \approx \mathbf{1100mV}$$

$$100mV/fC \approx \mathbf{370mV}$$

Amplification value which is used as energy loss

シミュレーションの流れ

□宇宙線測定で得られるデータをMCシミュレーションで生成する。

1. 宇宙線がシリコンセンサーを通過

1. 宇宙線 μ 粒子をMCで発生させる。
2. 上下シンチレータおよびシリコンセンサーを通過させる

2. シリコンセンサー中でエネルギー損失

1. μ 粒子が通過したシリコンセンサー上面の座標からchip番号とchannel番号を取得
2. 通過ストリップ数や通過距離、通過chip番号やchannel番号を取得
3. ストリップごとにエネルギー損失を計算

3. 読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。

1. 損失エネルギー → 電荷 (ゲイン) → mV (オフセット) → ADC (ビンに分ける)

□宇宙線測定と同じクラスター解析プログラムを実行

1. ヒットストリップをクラスターにまとめる
2. クラスターのADC分布を測定

適切なゲイン値とオフセットの決定

- ・シミュレーションとの比較(オフセット=190)



シミュレーションでも宇宙線測定と同じようなGselとエネルギー損失の関係がわかる。
 →Gselとゲイン値の関係の解釈改善は妥当であった

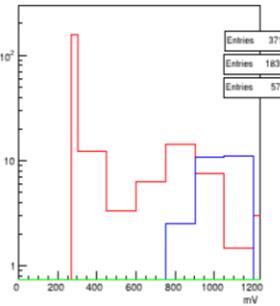
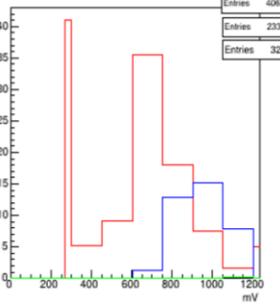
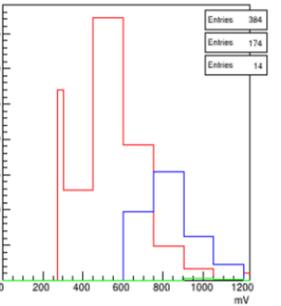
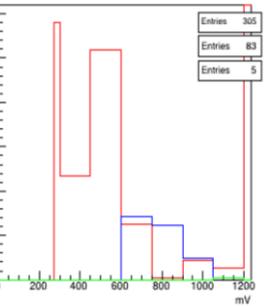
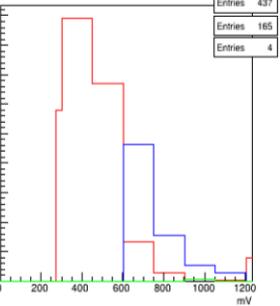
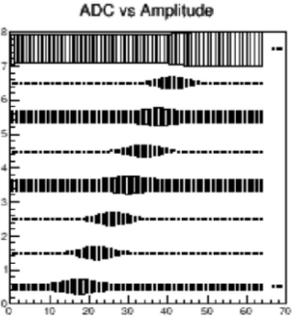
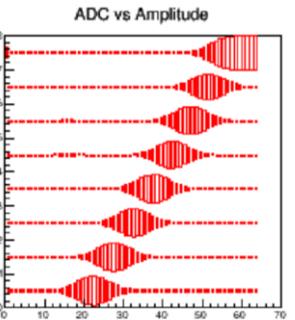
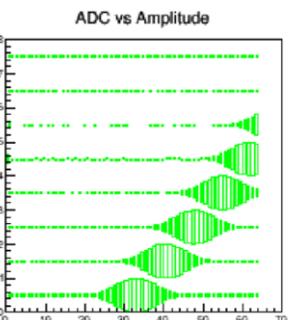
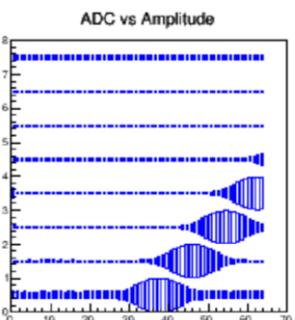
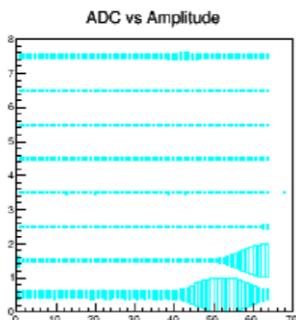
キャリブレーションテスト

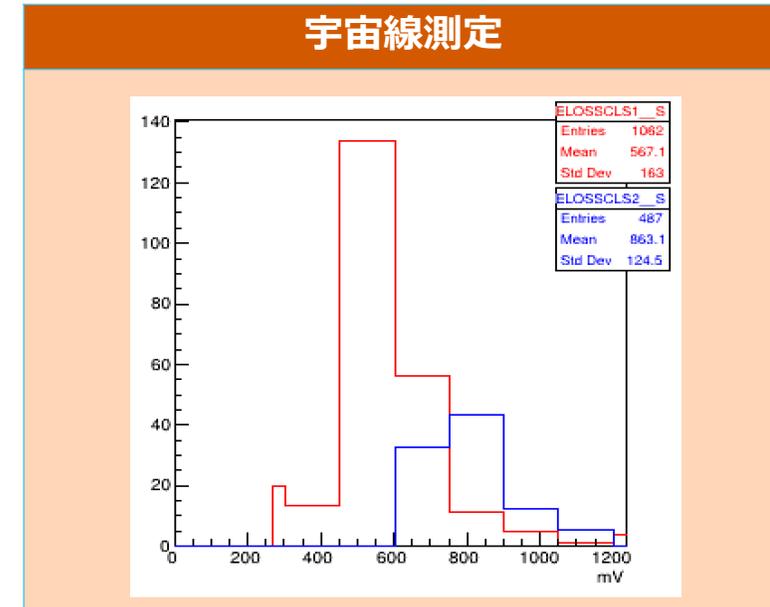
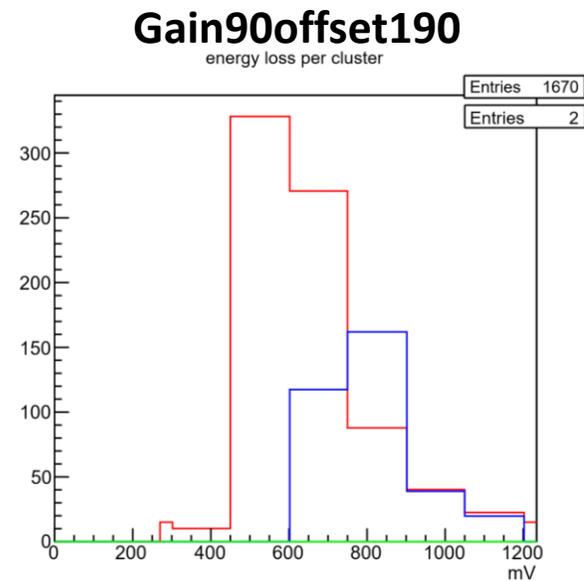
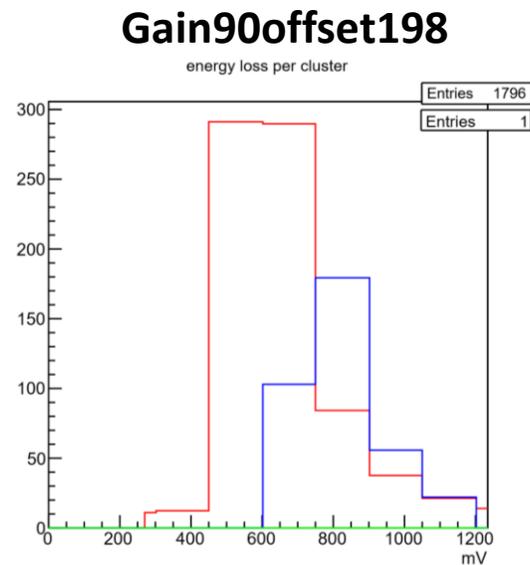
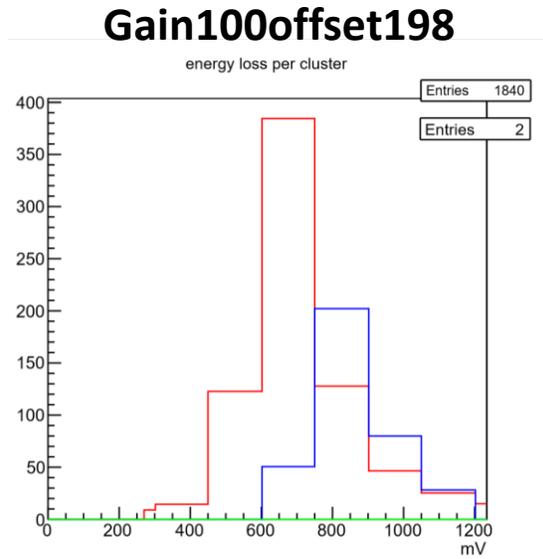
- キャリブレーションテスト
 - FPHXチップからの信号読み出し回路のテスト
 - ROCの性能評価



- ROCにHDIを接続した状態でROCより発生したシリコンセンサーからの出力を模した信号をFPHXチップのテストパルス入力に入れ、FPHXチップからじっと信号を見るもの。この際、キャリブレーションパルスは複数のパルス高が全チップ、全チャンネルへ順次スキャンされ全てチャンネルに入力される。

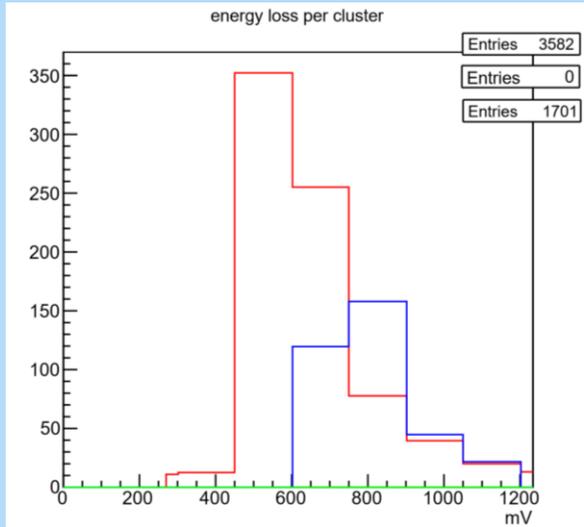
キャリブレーションテストによるオフセットの確認

入力値		0	1	2	3	5
宇宙線測定	予想ゲイン値	改善前 46×5	50×5	60×5	67×5	100×5
		改善後 200	150	100	85	60
						
キャリブレーションテスト	切片(オフセット)[mV]	199	196	198	198	186
						

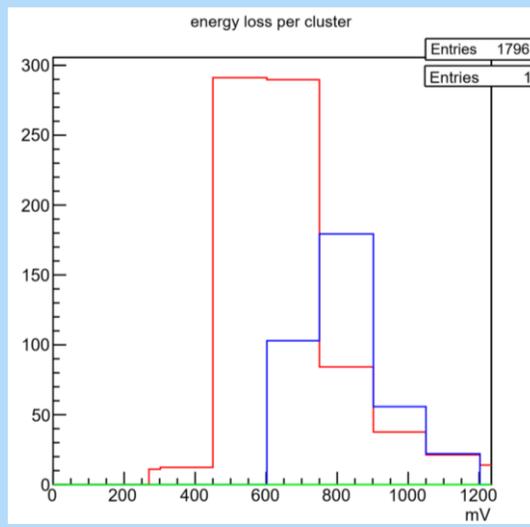


gain=90offset198では宇宙線測定データと合わない場合もある(シミュレーションのため)
Gain91以上にすると宇宙線結果と合わなくなる

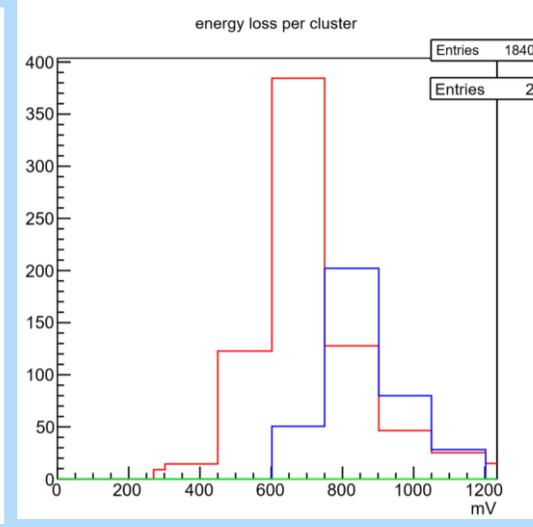
Gain86offset198



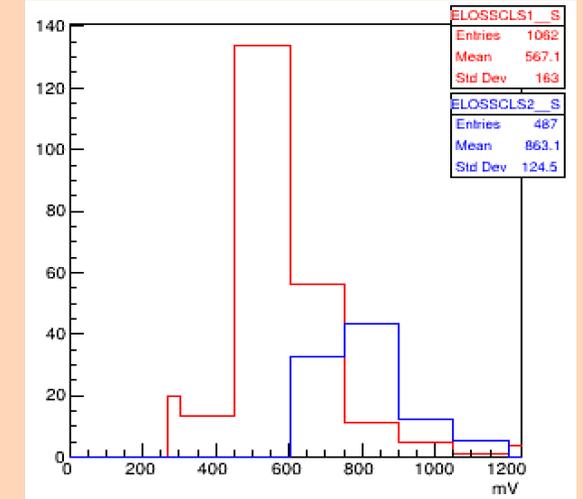
Gain90offset198



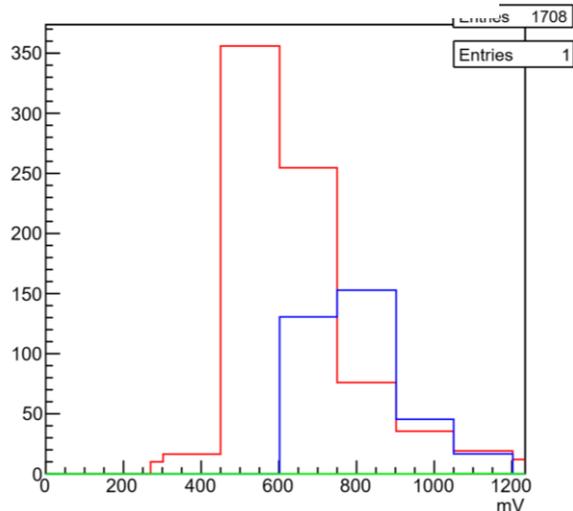
Gain100offset198



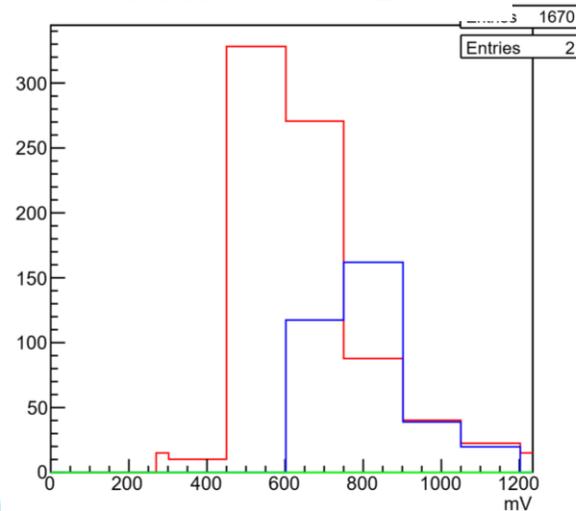
宇宙線測定



Gain88offset190



Gain90offset190



Offset=198

- Gain85以上90以下

Offset=190

- Gain87以上92以下

で宇宙線測定と結果が一致する。

読み出し回路中で損失エネルギーをADCに変換する。

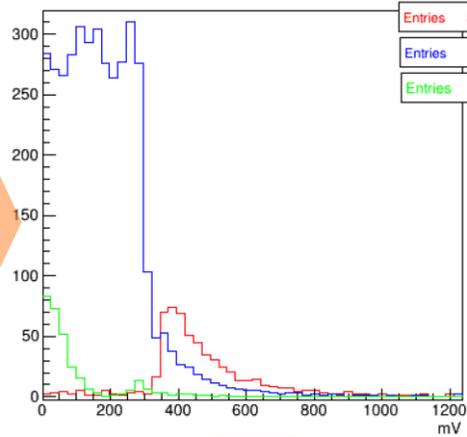
ゲイン値

オフセット

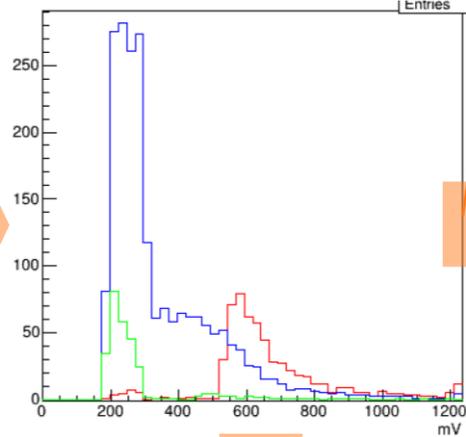
DAC閾値

ADC(ビン分け)

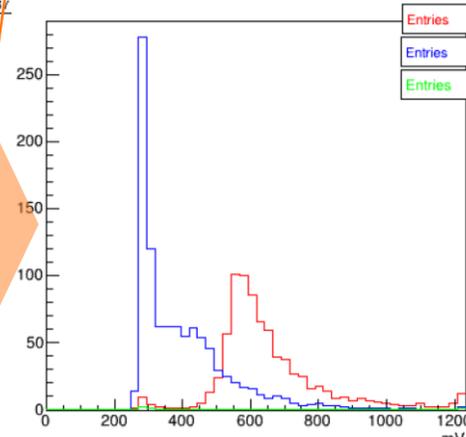
Silicon sensor



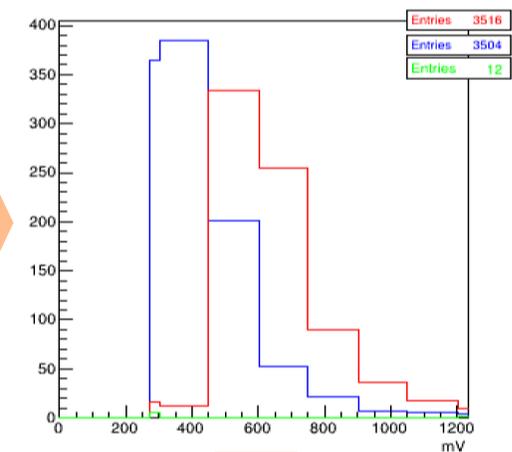
クラスタ化



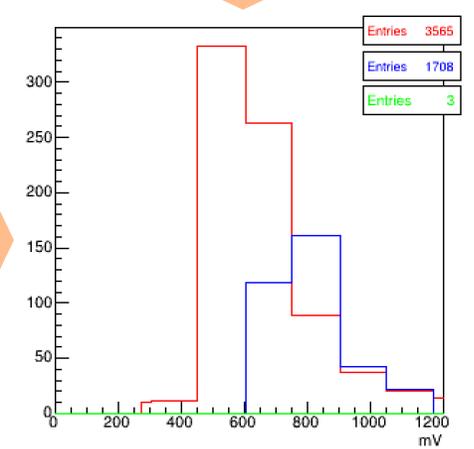
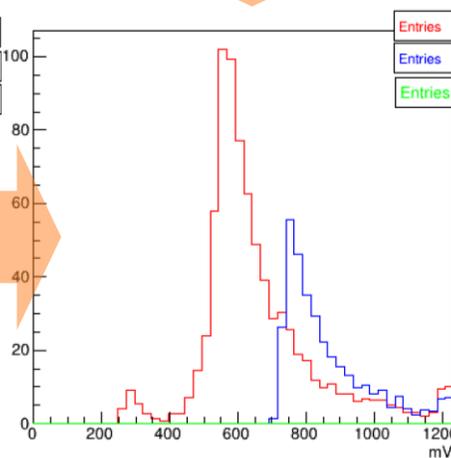
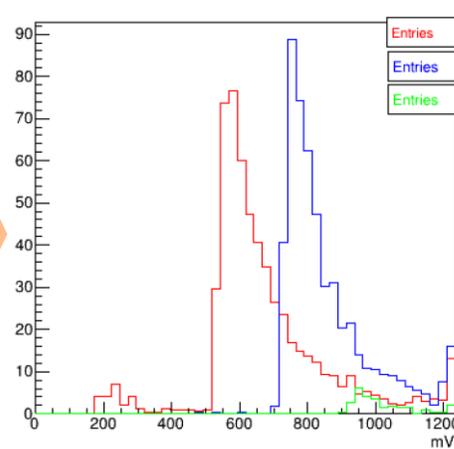
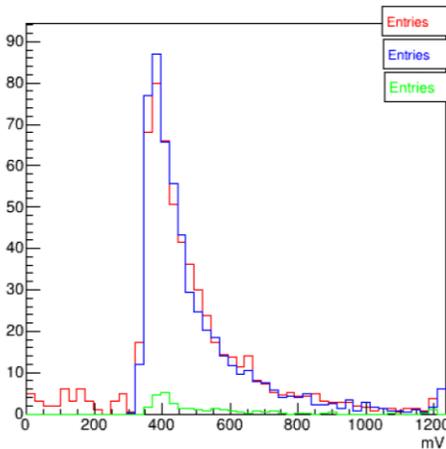
クラスタ化



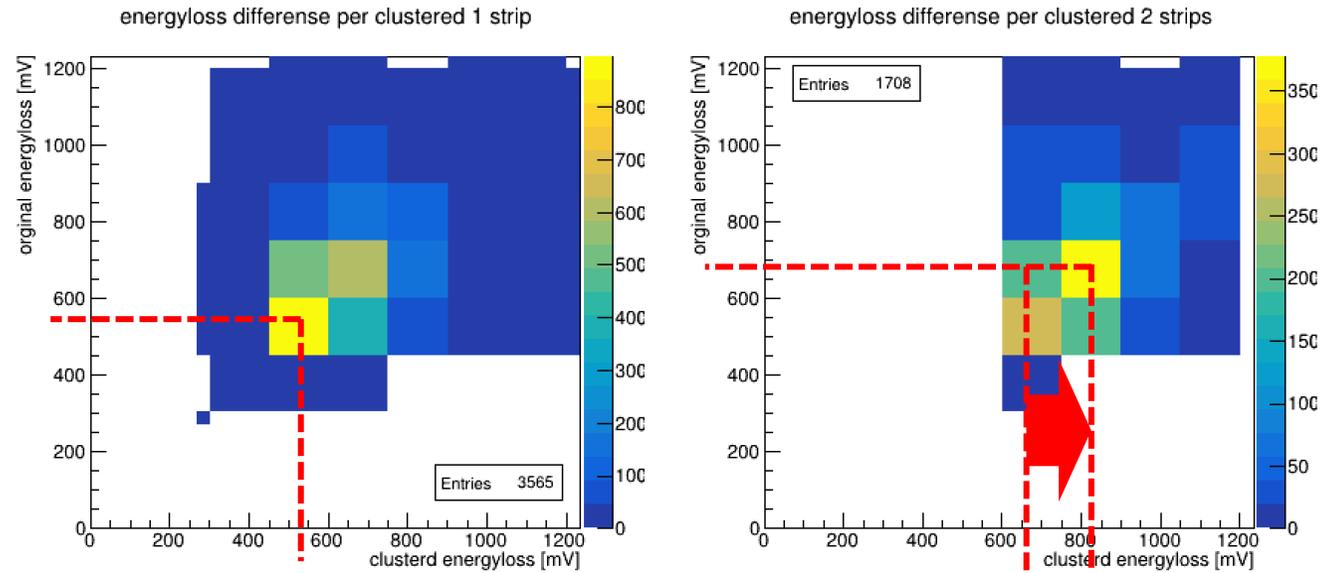
クラスタ化



クラスタ化



- ADCを通りクラスタ化までの処理前後のエネルギー損失の違い



通過ストリップ数 = 1 → エネルギー損失に変化なし
通過ストリップ数 = 2 → エネルギー損失が大きく計算される。

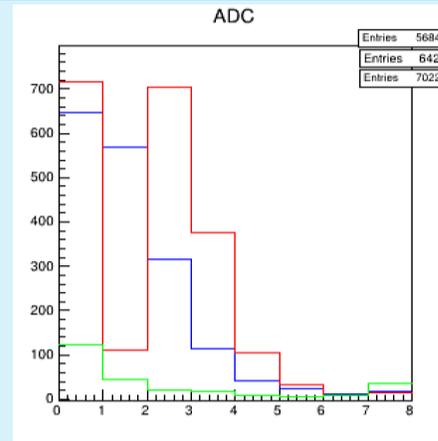
- ゲイン値
90 mV / f c
- オフセット
180 ~ 192 mV

損失エネルギー

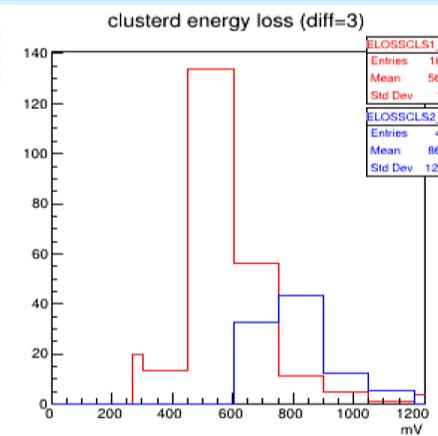
- 1 ヒットのピーク :
450 ~ 600 mV
- 2 ヒットのピーク :
750 ~ 900 mV

宇宙線測定

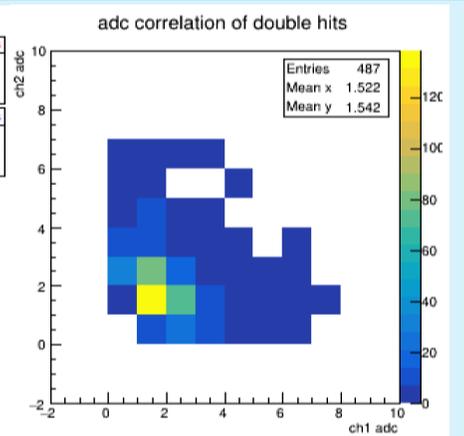
クラスター化前
のADC



クラスター化後
の損失エネルギー



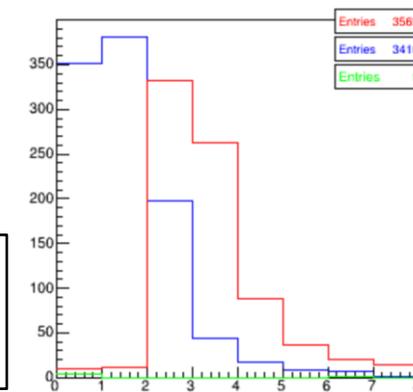
2 ヒットのadc相関



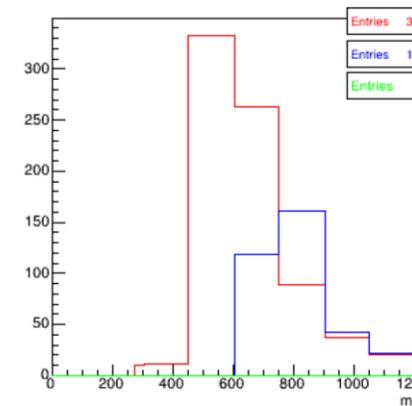
シミュレーション Gain90 offset 190

赤 : ヒット数 = 1
青 : ヒット数 = 2
緑 : ヒット数 = 3

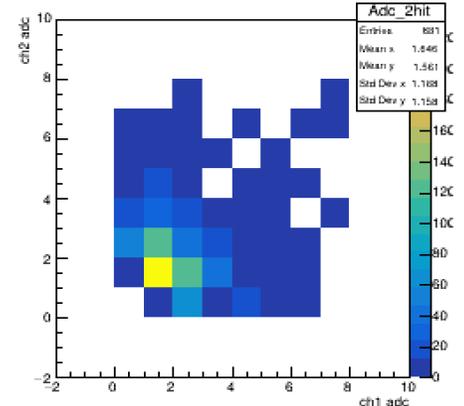
ADC



energy loss per cluster



adc correlation of double hits



宇宙線測定で測定した粒子は宇宙線であり、宇宙線のエネルギー損失分布のピークを確認できた。